

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Voditelj rada:
prof. dr. sc. Aleksandar Sušić

Student:
Robert Bratić
0035177686

Zagreb, 2014.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje

DIPLOMSKI RAD

Student:
Robert Bratić
0035177686

Zagreb, 2014.

Sažetak rada

U okviru ovog rada dano je konstrukcijsko rješenje naprave koja omogućuje preventivno i terapijsko vježbanje mišića ramenog zgloba, sa naglaskom na sinergijski učinak vježbanja.

Prije konstrukcijske razrade potrebno je objasniti anatomiju i biomehaniku mišića ramenog zgloba, kako bi se dobio uvid u funkcionalnost i značaj mišića ramenog pojasa. U radu je dan i kratki pregled postojećih naprava za kondicioniranje mišića ramenog zgloba.

Provođenjem analize aktivnosti i uloge mišićnih skupina ramenog pojasa, razmatrajući anatomiju, biomehaniku te vježbe za kondicioniranje ramenog zgloba, utvrđen je pokret za sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog zgloba. Pokret je podijeljen u četiri faze radi lakše analize.

Konstrukcijska razrada se sastoji od tehničkog upitnika, funkcijske dekompozicije i morfološke matrice. Iz morfološke matrice se odabiru koncepti koji se vrednuju metodom potencijala, te se najbolji od njih uzima za daljnju konstrukcijsku razradu.

Odabrano konstrukcijsko rješenje se sastoji od pomičnog sjedala i nepomičnog dijela sa opterećenjem. Prilagođavanje antropometriji korisnika je moguće na pomičnom sjedalu, ali i na dijelu sa opterećenjem. Moguće je približavanje sjedala i podešavanje visine naslona, te podešavanje početnog položaja ručke. Prijenos opterećenja je ostvaren preko sustava kolotura i čeličnog užeta, te je omogućen odabir opterećenja prema korisnikovim mogućnostima.

Zaštitna maska naprave, osim svrhe odvajanja korisnika od pokretnih dijelova ima i svrhu davanja dodatne krutosti konstrukciji.

Unutar naprave se nalazi i mehanizam za natezanje užeta, kako bi se onemogućilo spadanje užeta sa sustava kolotura. Uz onemogućivanje spadanja, još jedna funkcija mehanizma je da osigurava djelovanje opterećenja tokom svih faza pokreta.

Prednost ovakve naprave je u tome što se omogućuje izvođenje definiranog optimalnog pokreta za sinergijsko vježbanje. Također, korisnik je zbog sigurnosti odvojen od svih pokretnih dijelova, te je pravilno pozicioniran što je u skladu sa ergonomskim načelima. Naprava, uz izvođenje definiranog pokreta, omogućuje i izvođenje raznih drugih pokreta. Time se ostvaruje raznolikost primjene naprave.

Summary

In this paper is given a design solution of a device for synergistic, preventive and therapeutic exercise of muscles of the shoulder complex.

Before designing the device, it is necessary to explain anatomy and biomechanics of the shoulder joint muscles. It is necessary to explain them, in order to gain insight into the functionality and importance of muscles of the shoulder complex. Also, in paper is given a brief overview of existing devices for conditioning the muscles of the shoulder joint. Analyzing activities and the role of muscles of the shoulder joint, considering the anatomy, biomechanics and exercises for conditioning of the shoulder joint, a movement is established for synergistic conditioning of the muscles of the shoulder joint. Movement is divided into four stages to facilitate analysis.

Design of the device consists of a technical questionnaire, functional decomposition and morphological matrix. From the morphological matrix, concepts are selected for evaluation. Evaluation of concepts is done with method of potentials, and the best of them is taken for further design elaboration.

The chosen design solution consists of a movable seat and fixed part with the load. Adjusting to users anthropometry is possible on a movable seat, but also on the part with the load. It is possible to move seat towards the fixed part, or away from it. Also, it is possible to adjust backrest height on the seat. Initial position of the handle is set on the rails of the fixed part.

Load transfer is accomplished via a pulley system and steel cable, which enables user to set desired load according to users capabilities. Protective casing of the device has, other than separating the user from moving parts, the purpose of providing additional stiffness to the structure.

Inside the fixed part of the device, there is a mechanism to maintain the tension in the rope, in order to prevent fall of the rope from pulleys. In addition to preventing fall of the rope, it ensures that load is present during all phases of movement.

The advantage of this device is that it enables execution of defined movement for synergistic exercise of the shoulder muscles. Also, users are separated from moving parts, and they are properly positioned as in accordance with ergonomic principles. The device can be multifunctional, due to capability to allow various other movements.

Sadržaj

Sažetak rada.....	3
Summary	4
Sadržaj	5
Popis slika	6
Popis tablica	8
1. Uvod	10
2. Rameni zglobovi – građa i značajke.....	11
3. Biomehanika ramenog zgloba.....	15
4. Ozljede i oštećenja ramenog pojasa	25
5. Vježbanje ramenog pojasa.....	27
5.1. Postojeće sprave za kondicioniranje ramenog pojasa.....	35
6. Definiranje pokreta za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa	38
7. Konstrukcijska razrada	42
7.1. Tehnički upitnik i definicija problema	42
7.2. Definicija cilja razvoja.....	44
7.3. Zahtjevi na konstrukciju	45
7.4. Funkcijska dekompozicija	46
7.5. Morfološka matrica.....	49
7.6. Odabir koncepata	55
8. Vrednovanje koncepata	57
8.1. Inicijalni odabir koncepata	57
8.2. Konačni odabir koncepta za razradu	67
9. Naprava za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba.....	70
10. Zaključak	82
Literatura	83

Popis slika

Slika 1.	Rameni zglob (1).....	11
Slika 2	Glenohumeralni zglob (1)	12
Slika 3	Sternoklavikularni zglob (1)	13
Slika 4	Mišići ramenog pojasa (2).....	13
Slika 5	Ligamenti ramenog pojasa (2)	14
Slika 6	Mišićna skupina deltoid – podjela (2).....	15
Slika 7	Pokreti ramenog zgloba (3).....	16
Slika 8	Odnos pomaka lopatice i ruke (4)	19
Slika 9	Rotatorska manšeta (5)	19
Slika 10	Sile u ramenom pojasu (4)	21
Slika 11	Sile prilikom spuštanja ruke (6).....	22
Slika 12	Rotatori ramenog pojasa (6).....	23
Slika 13	Pasivna vanjska rotacija (7)	28
Slika 14	Veslanje (7).....	28
Slika 15	Vanjska rotacija sa abdukcijom ruke pod 90° (7).....	29
Slika 16	Unutarnja rotacija (7).....	30
Slika 17	Vanjska rotacija (7).....	30
Slika 18	Savijanje lakta (7)	31
Slika 19	Istezanje lakta (7).....	31
Slika 20	Stražnji zaveslaj (7).....	32
Slika 21	Horizontalna abdukcija (7).....	32
Slika 22	Horizontalna unutarnja i vanjska rotacija (7).....	33
Slika 23	Bočna vanjska rotacija (7).....	33
Slika 24	Bočna unutarnja rotacija (7).....	34
Slika 25	Sprava za bočno podizanje (2).....	35
Slika 26	Sprava za podizanje iznad glave (2)	36
Slika 27	Sprava za kondicioniranje stražnje strane ramena (2)	36
Slika 28	Pokret za sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa	41
Slika 29	Funkcijska dekompozicija naprave.....	47
Slika 30	Dodjeljivanje preferencija.....	57
Slika 31	Vrednovanje prema načinu prihvata korisnika	58
Slika 32	Vrednovanje prema mogućnosti prilagođavanja antropometriji korisnika.....	59
Slika 33	Vrednovanje prema mogućnosti postizanja raznih pokreta	59
Slika 34	Vrednovanje prema mogućnosti odabira opterećenja.....	60
Slika 35	Vrednovanje prema načinu prihvata ruke	60
Slika 36	Vrednovanje prema načinu prijenosa opterećenja	61
Slika 37	Vrednovanje prema jednostavnosti izvedbe	61
Slika 38	Vrednovanje prema konačnim dimenzijama naprave.....	62
Slika 39	Vrednovanje prema intuitivnosti korištenja naprave	62
Slika 40	Vrednovanje prema izgledu naprave.....	63
Slika 41	Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti ozljede na pokretnim dijelovima.....	64
Slika 42	Vrednovanje prema kriteriju održavanja naprave.....	64

Slika 43	Vrednovanje prema kriteriju položaja korisnika prilikom upotrebe naprave	65
Slika 44	Koncept 3	67
Slika 45	Koncept 4	68
Slika 46	Naprava za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba.....	70
Slika 47	Sjedalo naprave za vježbanje	71
Slika 48	Prilagođavanje sjedala antropometriji korisnika.....	71
Slika 49	Određivanje početnog položaja ruke.....	72
Slika 50	Podešavanje početnog položaja naprave.....	72
Slika 51	Sustav prijenosa opterećenja.....	73
Slika 52	Sustav kolotura.....	74
Slika 53	Sustav kolotura za napinjanje čeličnog užeta	75
Slika 54	Sustav kolotura za vezu sa korisnikom	75
Slika 55	Sustav kolotura za vezu sa korisnikom	76
Slika 56	Vodilice zaštitne maske	77
Slika 57	Prednji pogled naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba	77
Slika 58	Bočni pogled naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba	78
Slika 59	Izometrijski pogled na napravu za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba	78
Slika 60	Mogućnost prilagođavanja udaljenosti od naprave.....	79
Slika 61	Mogućnost prilagođavanja naslona po visini.....	80
Slika 62	Napinjanje užeta.....	80
Slika 63	Izbor opterećenja.....	81
Slika 64	Smanjenje potrebnog hoda utega	81

Popis tablica

Tablica 1	Zahtjevi na napravu za kondicioniranje ramenog pojasa	45
Tablica 2	Definiranje funkcija.....	46
Tablica 3	Prihvat korisnika omogućiti - morfološka matrica.....	49
Tablica 4	Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti - morfološka matrica .	50
Tablica 5	Prihvat ruke korisnika omogućiti - morfološka matrica.....	51
Tablica 6	Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti - morfološka matrica	51
Tablica 7	Odabir opterećenja omogućiti – morfološka matrica	52
Tablica 8	Opterećenje sa rukom povezati - morfološka matrica.....	53
Tablica 9	Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti - morfološka matrica.....	53
Tablica 10	Vođenje pokreta po optimalnoj putanji omogućiti - morfološka matrica	54
Tablica 11	Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi - morfološka matrica.....	54

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno služeći se stečenim znanjem i dostupnom literaturom.

Zahvala:

Zahvaljujem se mentoru, profesoru dr. sc. Aleksandru Sušiću na izuzetnoj podršci, pruženom iskustvu i znanju iz područja konstruiranja, biomehanike i ergonomije te idejama i prijedlozima tijekom izrade rada.

Zahvaljujem kineziologu Ahmi Kozariću na pruženom stručnom znanju iz područja kineziologije i terapijskog vježbanja te na prijedlozima vezanim za biomehaniku pokreta.

Velika zahvala mojim roditeljima i prijateljima koji su mi pomagali tokom studija svojim brojnim savjetima i razgovorima te pogotovo na njihovom strpljenju. Posebno se zahvaljujem svojem bratu na pruženoj pomoći, savjetima i usmjeravanju tokom studija. Bez njegove potpore bilo bi znatno teže.

1. Uvod

Obavljanje svakodnevnih, kako laganih tako i teških zadataka je nezamislivo bez upotrebe ruku. Potpuna funkcionalnost ljudske ruke i mogućnost izvršavanja najsloženijih zadataka postiže se pomoću stabilnog i zdravog ramena, kao zgloba koji omogućava kretanju ruke i prenošenje opterećenja u odnosu na trup. Stabilnost i zdravlje ramena se postiže redovitim, ili preventivnim, te rehabilitacijskim vježbanjem mišića koji okružuju rameni zglob. Mišići ramenog zgloba su aktivni stabilizatori ramena te se njima zbog toga posvećuje najviše pažnje.

Ozljede ramena mogu biti prilično ozbiljne te dovesti do kasnijih komplikacija i problema. Zbog toga je mišiće ramenog pojasa potrebno održavati optimalno kondicionirane, kako bi bili na potrebnoj razini za obavljanje dnevnih zadataka. Uz to, anatomija ramenog zgloba koja omogućava tako velik raspon i slobodu pokreta istodobno ukazuje i na veliku izloženost potencijalnim ozljedama.

Cilj ovoga rada je provedba konstrukcijske razrade koja treba izlučiti rješenje naprave koja omogućuje sinergijsko vježbanje ramenog pojasa. Kako bi se moglo pristupiti konstrukcijskoj razradi, biti će potrebno definirati pokret za sinergijsko vježbanje ramenog pojasa.

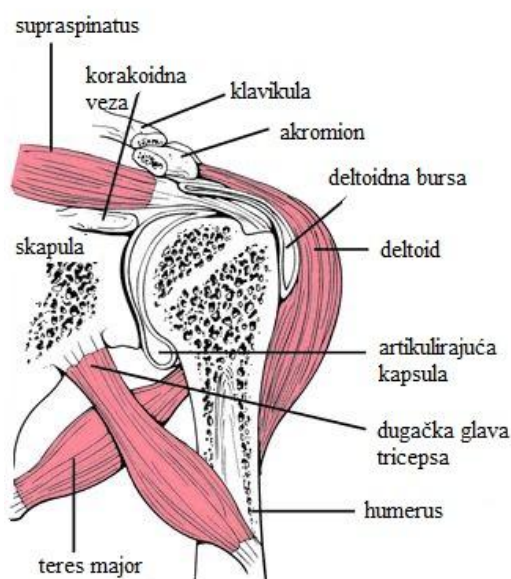
Osim toga, biti će prikazana biomehanika ramenog zgloba, odnosno ramenog pojasa kao i njegova anatomija. U sklopu toga će biti objašnjene moguće ozljede i oštećenja ramenog pojasa, kao i načini rehabilitacije.

Pod saniranjem ozljeda podrazumijeva se rehabilitacijsko i preventivsko vježbanje velikih mišićnih skupina koje se nalaze unutar ramenog pojasa.

2. Rameni zglob – građa i značajke

Ljudsko rame je, kao i zglob kuka, zglob koji ima najviše stupnjeva slobode gibanja u ljudskom tijelu. Sustav ramenog zgloba čine tri kosti te mišići, ligamenti i tetive koje okružuju te kosti. Kosti koje čine rame su klavikula, skapula i humerus. Klavikula se još naziva i ključna kost te se nalazi na gornjem dijelu ramena. Skapula je kost lopatice te se nalazi u stražnjem dijelu ramena. Humerus je kost nadlaktice te se nalazi sa prednje i donje strane ramena, te je ujedno i najveća kost ramenog zgloba.

Kako je već rečeno rameni zglob osim spomenutih kostiju čine i mišići koji okružuju te iste kosti. Tako imamo da rameni zglob čini skupina raznovrsnih mišića, kako velikih tako i malih. Od mišića koji čine rameni zglob bitno je napomenuti skupinu mišića deltoidi, trapezijus te prsne mišićice i mišićice rotatorske manšete. Slika 1 daje prikaz građe ramenog pojasa.



Slika 1. Rameni zglob (1)

Kako je spomenuto rame je najpokretniji zglob te ima tri stupnja slobode gibanja. Razlikujemo šest različitih pokreta ramena, ali se oni ostvaruju rotacijom oko tri osi.

Unutar ramena se nalaze tri manja zglobova. To su glenohumeralni zglob, sternoklavikularni zglob i akromioklavikularni zglob.

Glenohumeralni zglob je glavni zglob ramena, te je ujedno i najveći. Upravo zbog toga se pojam ramenog zgloba najčešće odnosi upravo na glenohumeralni zglob.

Glenohumeralni zglob se može opisati kao sferni zglob koji omogućuje rotacije. Sfera zgloba se nalazi na kosti nadlaktice, humerusu, te čini pomični dio zgloba. Nepomični dio zgloba se nalazi na kosti lopatice, skapuli, te služi kao oslonac za sferni dio zgloba.

Glenohumeralni zglob je okružen sa zglobnom kapsulom. Zglobna kapsula je mekano tkivo koje povezuje kost humerus, skapulu te glavu mišića bicepsa, koji se nalazi u području nadlaktice. Uloga zglobne kapsule, osim povezivanja, je i u podmazivanju zgloba. Unutar zglobne kapsule nalazi se i sinovijalna membrana koja služi za hranjenje i podmazivanje hrskavičnog tkiva. Hrskavično tkivo je tkivo po kojem se vrši kontakt artikulirajućih površina zgloba. Slika 2 daje prikaz glenohumeralnog zgloba.



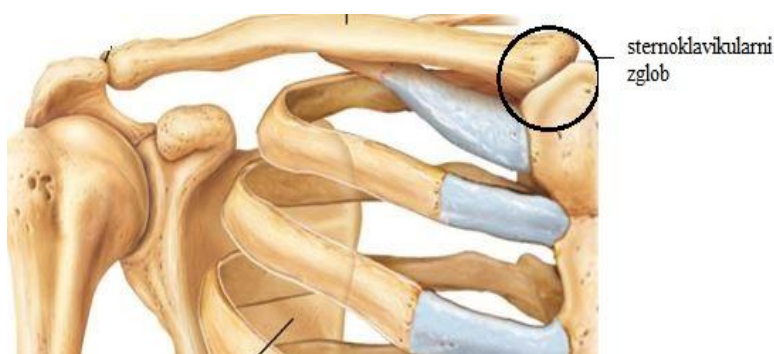
Slika 2 Glenohumeralni zglob (1)

Glenohumeralni zglob se odlikuje izuzetno velikom pokretljivošću. Razlog izuzetno velikoj pokretljivosti je relativno plitak oslonac zgloba te poprilično labave veze ligamenata. Izuzetno velika pokretljivost je ujedno i veliki nedostatak jer se time omogućava lakša dislokacija sfere, ili humeralnog dijela zgloba.

Akromioklavikularni zglob se nalazi na vrhu ramenog pojasa. Ovaj zglob je čisti sinovijalni zglob. Sinovijalni zglob je vrsta zgloba koja je najpokretnija. Strukturna razlika ovakvih zglobova od drugih je u tome što oko artikulirajućih, ili kontaktnih, površina postoje

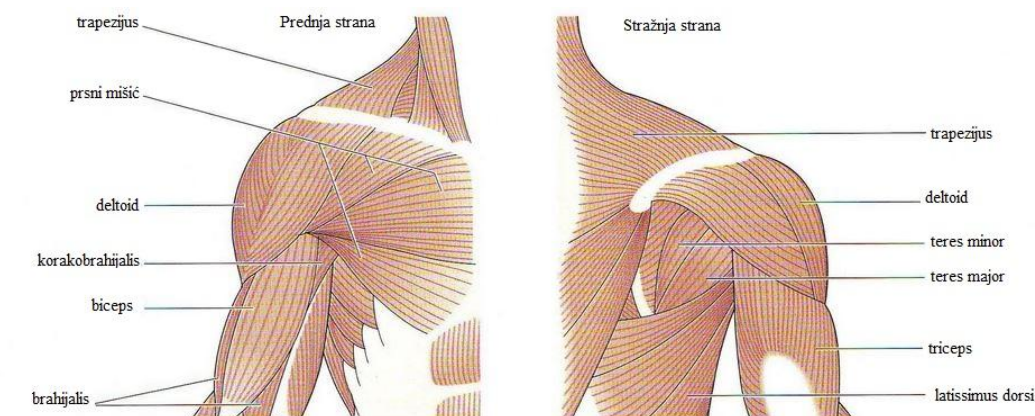
kapsule koje ispuštaju sinovijalnu tekućinu. Time se ostvaruje podmazivanje i hranjenje zgloba.

Drugi najvažniji zglob koji se nalazi unutar ramenog pojasa je **sternoklavikularni zglob**. Ovaj zglob se nalazi na medijalnom kraju klavikularne kosti, točnije na spoju klavikularne kosti s prsnom kosti. Sternoklavikularni zglob je manji od glenohumeralnog zgloba, te zbog toga sadrži usku zglobnu kapsulu koja skupa sa ligamentima osigurava i stabilizira zglob. Dislokacija ovog zgloba je rijetka ali moguća uslijed velikih vanjskih sila na rameni zglob ili ruku. Slika 3 daje prikaz sternoklavikularnog zgloba ramenog pojasa.



Slika 3 Sternoklavikularni zglob (1)

Osim zglobova, unutar ramenog pojasa se nalaze i razne mišićne skupine kao i ligamenti i tetive. Neke od tih mišićnih skupina su deltoidi, trapezijus, biceps, triceps pa čak i prsni mišići. Naravno, mišićne skupine djeluju u parovima antagonista i agonista. Zbog toga je, prilikom kondicioniranja ramenog pojasa, potrebno posebno obratiti pažnju na vježbe koje ostvaruju sinergiju i usklađeno djelovanje navedenih mišića. O tome će više biti rečeno u idućem poglavlju. Slika 4 daje prikaz mišića ramenog pojasa kao i onih mišića koji utječu na rameni pojas.

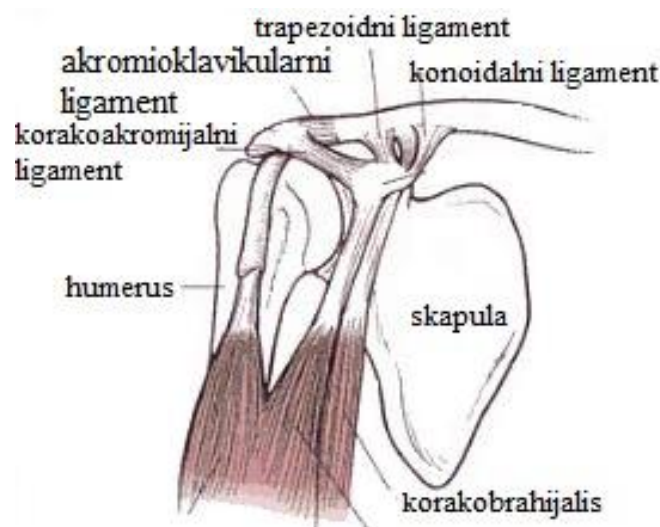


Slika 4 Mišići ramenog pojasa (2)

Osim mišića i kostiju potrebno je spomenuti i objasniti i ligamente koji se nalaze unutar ramenog pojasa. Ligamenti ramenog pojasa su jako bitni upravo zbog glenohumeralnog zgloba. Naime, unutar glenohumeralnog zgloba kontakt između kosti nadlaktice i njoj odgovarajuće kosti ramena je minimalan, te je stoga taj zglob poprilično nestabilan.

S prednje strane zgloba se nalaze glenohumeralni i korakohumeralni ligamenti. Njihova uloga je da ruku drže u spoju ramenog pojasa, kada se ona nalazi u stanju mirovanja. Osim toga, imaju ulogu i potpore prilikom pokreta abdukcije, vanjske rotacije i istezanja. Korakohumeralni ligament se nalazi sa stražnje strane ramenog pojasa te uz mišićnu strukturu u tom predjelu čini potporu gornjeg dijela ramena.

Osim spomenutih ligamenata, unutar ramenog pojasa se nalaze i trapezoidni ligament, korakoklavikularni ligament te korakoakromijalni ligament. Svaki od navedenih ligamenata je zaslužan za održavanje stabilnosti i cjelovitosti ramenog zgloba kako u stanju mirovanja tako i za vrijeme određenih pokreta. Slika 5 daje prikaz smještaja ligamenata unutar ramenog pojasa.



Slika 5 Ligamenti ramenog pojasa (2)

3. Biomehanika ramenog zgloba

Biomehanika ramenog zgloba je iznimno složena upravo zbog izuzetne velike pokretljivosti zgloba.

Prilikom promatranja biomehanike ramenog pojasa, odnosno ramenog zgloba, potrebno je promatrati i biomehaniku ranije spomenutih zglobova i mišića. Mišiće se može podijeliti na skupine velikih i malih mišića.

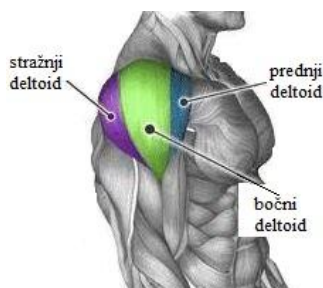
Skupina malih mišića ima ulogu stabilizacije ramenog zgloba prilikom slobodnih pokreta te prilikom rotacije unutar ramenog pojasa. Slobodni pokreti su oni pokreti kod kojih nema vanjskog opterećenja, to jest jedino opterećenje je vlastita težina ruke.

Skupina velikih mišića ima ulogu stabilizacije ramenog zgloba prilikom pokreta pod vanjskim opterećenjem. Takvi pokreti najčešće mogu biti nekakvi trzaji, zbog čega je izuzetno važno da mišići u ovoj skupini budu uravnoteženi i jaki. Razlog tome je taj da je prilikom trzaja nestabilnost ramena najveća te je visok rizik pojave ozljeda.

Prema ranije rečenom, mišići ključni za stabilizaciju i normalno funkcioniranje ramenog zgloba nalaze se na području leđa, nadlaktice te na području prsa. Neki od većih mišića koje je potrebno posebno istaknuti su mišići skupine deltoid i trapezijus.

Mišići trapezijus skupine omogućuju različite vrste pokreta, ovisno o tome koji se dijelovi mišićnih vlakana koriste. Ova skupina mišića se može podijeliti na gornji i donji trapezijus.

Mišići deltoid skupine se dijele na tri skupine mišićnih vlakana. Prema toj podjeli imamo stražnja, srednja i prednja mišićna vlakna ove skupine mišića. Slika 6 daje prikaz podjele mišićne skupine deltoid.

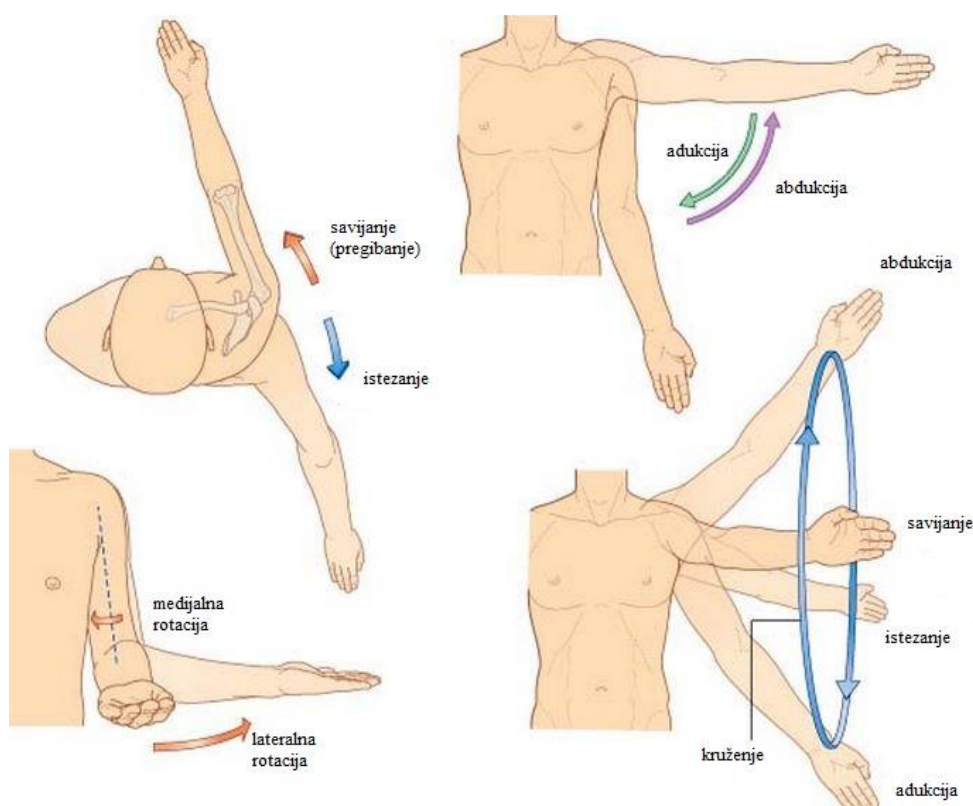


Slika 6 Mišićna skupina deltoid – podjela (2)

Ovisno o tome koja se mišićna vlakna aktiviraju dolazi do različitih pokreta. Aktivacijom prednjih mišićnih vlakana dolazi do pokreta kao što su abdukcija i vanjska rotacija.

U slučaju aktivacije srednjih mišićnih vlakana dolazi do pokreta unutarnje rotacije te abdukcije. Pokret istezanja ramena se ostvaruje aktivacijom stražnjih mišićnih vlakana.

Abdukcija i adukcija su pokreti prilikom kojih dolazi do približavanja ili odaljavanja ramenog zgloba tijelu. Odaljavanje ramenog zgloba, a samim time i ruke, od tijela naziva se abdukcija dok se približavanje istih naziva adukcija. Slika 7 daje prikaz mogućih pokreta ramenog zgloba.



Slika 7 Pokreti ramenog zgloba (3)

Prema slici 7 vidimo da su neki od mogućih pokreta pokreti medijalne i lateralne rotacije. Medijalna, ili unutarnja, rotacija je ona kojoj os rotacije ide kroz nadlakticu, te se sama rotacija odvija prema unutrašnjosti tijela. Lateralna, ili vanjska, rotacija ima istu os rotacije kao i unutarnja, ali je smjer same rotacije suprotan, te se odvija prema vanjskom dijelu tijela, prema van.

Skupina mišića trapezijus pomaže prilikom pokreta podizanja, adukcije i rotacije ramenog pojasa prema gore.

Prednja mišićna vlakna skupine deltoid pomažu prilikom abdukcije ramena te prilikom vanjske rotacije. Ova skupina mišićnih vlakana najčešće djeluje u paru sa prsnim mišićima prilikom istezanja i savijanja ramena.

Srednja mišićna vlakna skupine deltoid djeluju prilikom abdukcije ramena kada istovremeno dolazi do rotacije prema unutrašnjosti, te kada dolazi do savijanja ramena i transverzalne abdukcije.

Stražnja mišićna vlakna skupine deltoid najviše djeluju prilikom istezanja ramena. Ova skupina mišića je ujedno i primarni hiperekstenzor ramena.

Prije konstrukcijske razrade, te utvrđivanja potrebnih funkcija potrebno je objasniti pokrete ramena prikazane na slici 7.

Abdukcija ruke, a samim time i ramena, se javlja kada se podiže dalje od tijela, bočno, te dolazi u položaj u kojem prsti dlana pokazuju prema gore. Pri tome ruka nije savijena u laktu i prilikom cijelog pokreta ostaje u čeonoj ravnini. Normalan raspon ovog pokreta je 180° .

Pokret se može podijeliti u tri faze. Prvih 60° pokreta se odvija u glenohumeralnom zglobu, dok se drugih 60° odvija uz pomoć skapularno-torakalnog zgloba. Treća i zadnja faza, zadnjih 60° pokreta, zahtjeva suradnju oba navedena zgloba kao i savijanje trupa u suprotnu stranu. Prilikom ovog pokreta dominantna mišićna skupina su bočni deltoidi u kombinaciji sa rotatorskom manšetom.

Adukcija ruke je pokret suprotan abdukciji ruke. Pri tome se prati ista linija pokreta kao kod abdukcije te je završna pozicija ona u kojoj prsti pokazuju prema dolje. Mišićne skupine koje su dominantne su iste kao i kod abdukcije uz dodatak mišićne skupine latissimus dorsi.

Savijanje ruke je pokret prilikom kojeg se nadlaktica rotira izvan čeone ravnine te ulazi u horizontalnu ravninu. Ovaj pokret se također može podijeliti u tri faze. Prva faza pokreta je od 0 do 60° pri čemu su glavni pokretači prednji deltoidi i gornji prsni mišići. Druga faza je od 60° do 120° gdje pokret ograničavaju upravo gornji prsni mišići. Treća, posljednja, faza ovog pokreta je od 120° do 180° pri čemu dolazi i do pokreta kralježnice skupa sa ramenim pojasom.

Istezanje ruke je pokret suprotan pokretu savijanja pri čemu ruka izlazi izvan čeone ravnine te ulazi u horizontalnu i prstima pokazuje prema natrag. Dominantne mišićne skupine su stražnji deltoid, mišići rotatorske manšete te triceps.

Unutarnja rotacija je pokret prilikom kojeg je nadlaktica u čeonj ravnini dok se podlaktica nalazi u horizontalnoj ravnini. Sami pokret se odvija tako da se podlaktica pomiče prema unutrašnjosti, to jest da se dlan pozicionira ispred prsnog koša.

Vanjska rotacija je pokret suprotan medijalnoj rotaciji te imamo da je pozicija ruke ista kao i kod unutarnje rotacije, ali se sama rotacija vrši tako da se podlaktica pozicionira bočno od tijela. Dominantne mišićne skupine su one rotatorske manšete.

Kruženje ispružene ruke je ujedno i kruženje ramena. Pri tome imamo da su prsti i lakat u potpunosti ispruženi te se nalaze bočno od tijela. Prilikom kruženja gornja točka pokreta se nalazi u poziciji kada je ruka paralelna sa ramenom.

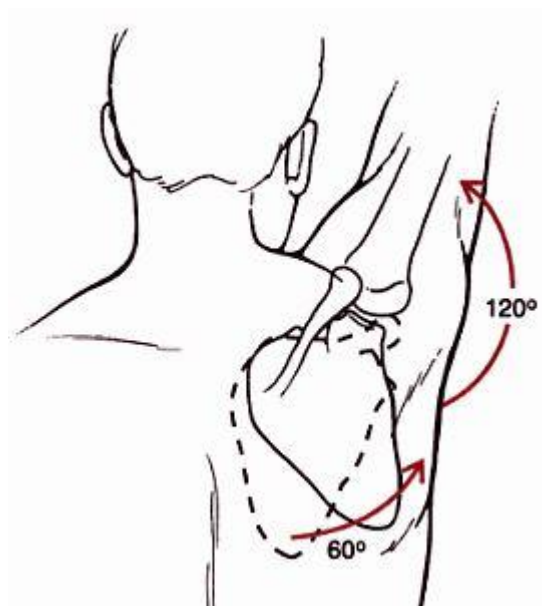
Zbog toga imamo da pokret u biti nije kružni, vršni dio pokreta je pravocrtan. Kao što se vidi, ovaj pokret je vrlo kompleksan te imamo da prilikom njega dolazi do aktivacije svih mišića ramenog pojasa. Aktivacije mišićnih skupina idu redom od prednjeg deltoida, preko bočnog do stražnjeg deltoida, pa do mišića rotatorske manšete.

Vidimo da su svi pokreti ramenog pojasa poprilično složeni te je potrebno kineziološko znanje, kao i znanje iz područja biomehanike kako bi se objasnili i pojednostavili.

Prilikom pokreta savijanja ili abdukcije, lopatica se pomiče ili prema kralješcima ili od njih kako bi pronašla stabilnu poziciju za podupiranje pokreta. Kada je podupiranje postignuto dolazi do pomicanja ključne kosti koja prati pokret ruke, kako bi ga omogućila. Prvih 60° pokreta se odvija uglavnom preko glenohumeralnog zgloba, no nakon toga dolazi do pomicanja lopatične kosti čime se pokret omogućuje.

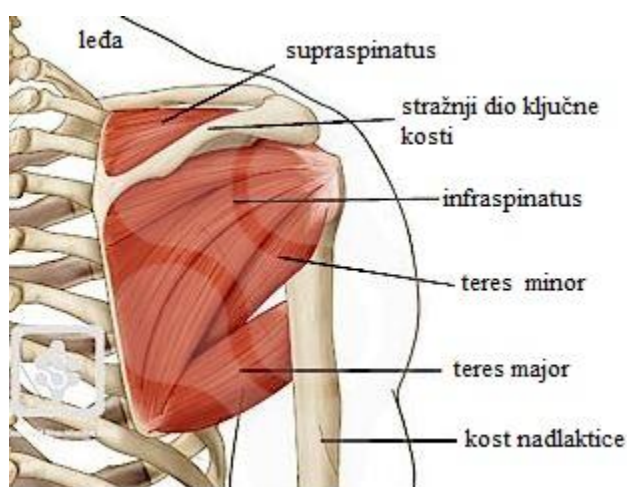
Pokret podizanja ruke, te odnos pomaka lopatične kosti i ruke je prikazan na slici 8.

Svaki puta kada dođe do podizanja ruke dolazi i do odgovarajućih pokreta ključne i lopatične kosti.



Slika 8 Odnos pomaka lopatice i ruke (4)

Svi navedeni i opisani pokreti su prilično složeni i zahtjevni. Rotatorska manšeta je ključna za stabilizaciju i sigurnost ramena prilikom svakog od navedenih pokreta. Slika 9 daje prikaz smještaja rotatorske manšete te njezinih mišića.



Slika 9 Rotatorska manšeta (5)

Rotatorska manšeta je anatomski naziv za mišiće i odgovarajuće tetive koje imaju ulogu stabilizacije ramena. Sastoji se od mišića koji drže proksimalni dio kosti nadlaktice skupa sa ključnom kosti i kosti lopatice.

Rotatorska manšeta je zaslužna za održavanje postojanosti ramenog zgloba kako u pokretu, tako i u mirovanju. Osim osiguravanja stabilnosti, jedna od uloga je i u tome da omogućuje klizanje sa niskim trenjem između kostiju, mišića i tetiva.

Primjer djelovanja rotatorske manšete je taj da ona prilikom pokreta abdukcije ruke vrši pritisak na glenohumeralni zglob te time omogućuje deltoidima da postignu veću visinu podizanja ruke.

Potrebno je pronaći pokret prilikom kojeg će biti moguće ostvariti sinergiju mišića kako bi bilo moguće pravilno kondicioniranje. Takvi pokreti su izuzetno složeni što se tiče biomehanike samog pokreta ali i kvalitete izvođenja istoga.

Kako bi bilo moguće odrediti takav pokret potrebno je objasniti ulogu svake od skupina deltoida prilikom pokreta.

Tako imamo da je prednji deltoid dominantan prilikom pokreta savijanja, horizontalne adukcije te unutarnje rotacije glenohumeralnog zgloba.

Bočni ili lateralni deltoid je dominantan u pokretu abdukcije glenohumeralnog zgloba. Na kraju imamo da je stražnji deltoid dominantan prilikom pokreta abdukcije, istezanja, horizontalne abdukcije te vanjske rotacije glenohumeralnog zgloba.

Kao što vidimo iz rečenog, moguća je dominacija dvije skupine mišića prilikom određenih pokreta. Razlog tome je upravo u tome što su ti pokreti kompleksni te je za njihovo odvijanje potrebno više pokretačkih jedinica, to jest mišićnih skupina.

Zbog toga što su deltoidi glavne pokretačke jedinice gotovo sve vježbe, kako rehabilitacijske tako i rekreativne, se izvode tako da dolazi do aktivacije deltoida i njihovog kondicioniranja.

Čak i kada je došlo do ozljede rotatorske manšete, ili ona ne funkcionira pravilno, funkcionalnost ramena je moguća zahvaljujući deltoidima.

Deltoidi stvaraju otprilike 50% potrebne mišićne sile za podizanje ruke prilikom abdukcije ili savijanja. Postotak se povećava sa povećanjem abdukcije, to jest sa udaljavanjem ruke od tijela. To može dovesti do problema prilikom vježbanja jer dolazi do povećanja umora mišića.

Deltoidi su najotporniji na umor u rasponu abdukcije od 45° do 90°. Upravo zbog toga se teži da se sve vježbe vrše unutar tog raspona kako bi se postigao optimalni učinak.

Mišićna skupina rotatorske manšete je također od ključne važnosti prilikom podizanja ruke, zbog toga jer deltoidi, sami, ne omogućavaju stabilizaciju glave humerusa u samom zglobo.

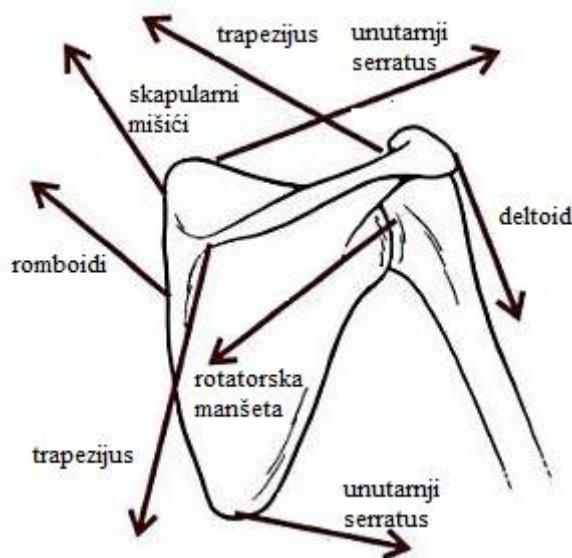
U samom početku podizanja ruke mišići rotatorske manšete skupa sa deltoidima spušta glavu humeralne kosti kako bi se mogla stabilizirati, te u konačnici kako bi deltoidi mogli izvršiti podizanje ruke.

Prilikom toga do isticaja dolazi mišić teres minor, čija mišićna sila u tom trenutku postaje jednaka ali suprotna onoj od deltoida.

Mišići rotatorske manšete stvaraju medijalnu silu koja omogućuje deltoidima podizanje ruke. Prilikom pokreta abdukcije dolazi do povećanja mišićne sile deltoida i rotatorske manšete, no kada pokret prođe 90° ukupnog pokreta dolazi do smanjenja mišićne sile rotatorske manšete. U tom trenutku dolazi do slabljenja stabilizacije ramena te ono postaje podložno ozljedama.

U gornjem dijelu pokreta, deltoidi povlače glavu humeralne kosti prema dolje, izvan zglobne čahure. Time se omogućuje lagana rotacija glenohumeralnog zgloba, čime se omogućuje postavljanje ruke i zgloba u konačni položaj pokreta.

Slika 10 daje prikaz smjerova povlačenja različitih skupina mišića u ramenom pojasu.



Slika 10 Sile u ramenom pojasu (4)

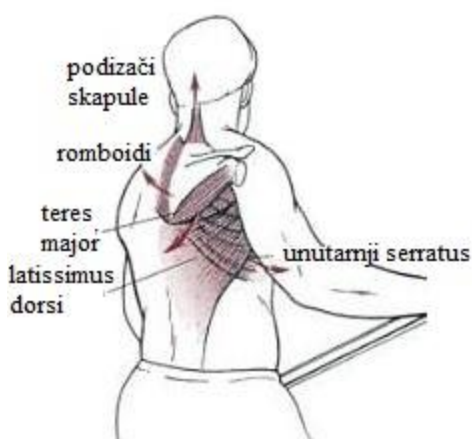
Sile prikazane na slici 10 nastaju u trenutku kada ruka ide iz stanja mirovanja u abdukciju. Sile mišića trapezijusa i serratusa omogućuju pomicanje lopatice prema dolje i u stran, kako bi omogućili podizanje ruke te samim time i ramenog pojasa.

Objasnili smo djelovanje mišića prilikom podizanja i abdukcije ruke, no sada je potrebno objasniti djelovanje mišića prilikom spuštanja i adukcije ruke.

Kod polaganog spuštanja ruke dolazi do ekscentričnog djelovanja mišića. To znači da je pokret kontroliran od strane mišića koji su kontrolirali pokret podizanja ruke. Ukoliko dolazi do spuštanja ruke pod nekim vanjskim opterećenjem dolazi do koncentričnog djelovanja mišića. Koncentrično djelovanje mišića znači da pokret kontroliraju velike mišićne skupine. Takva mišićna skupina je latissimus dorsi, teres major, romboid te prsni mišići.

Romboidna mišićna skupina rotira prema dolje lopaticu te uz pomoć latissimus dorsi i teres majora kontrolira pokret ruke i lopatice.

Slika 11 daje prikaz položaja mišića te smjerove njihovog djelovanja prilikom spuštanja ruke pri vanjskom opterećenju.



Slika 11 Sile prilikom spuštanja ruke (6)

Sad kada smo objasnili mišićne aktivnosti ramenog pojasa prilikom dva osnovna pokreta, podizanje i spuštanje ruke, potrebno je objasniti i mišićnu aktivnost tokom dvije osnovne rotacije ruke, unutarnju i vanjsku.

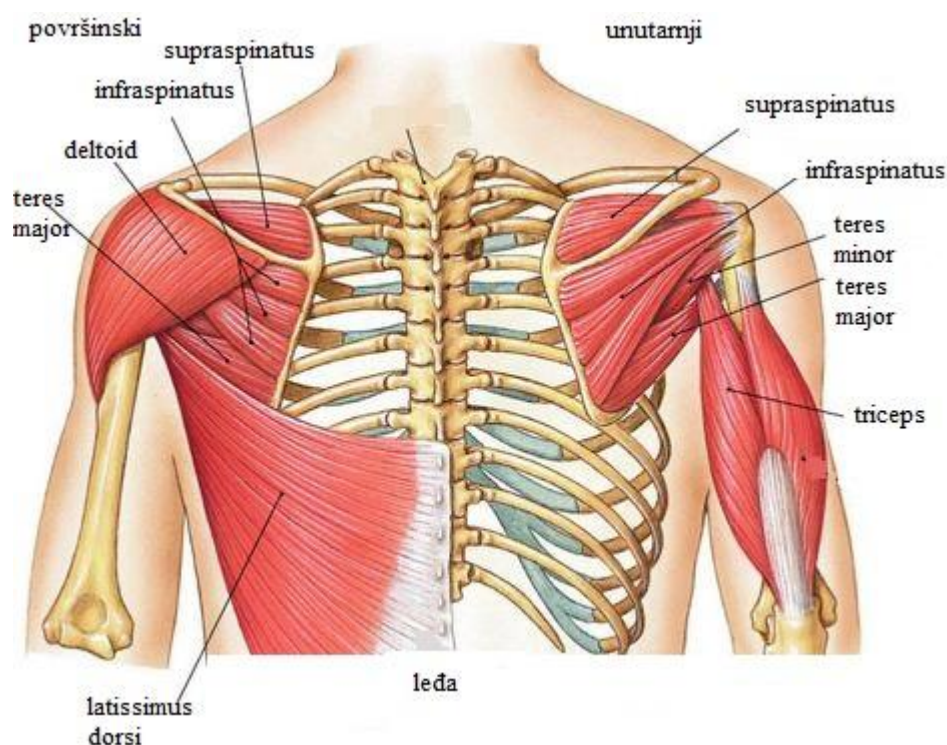
Unutarnja rotacija se odvija pomoću mišićnih skupina latissimus dorsi, teres major, subscapularis te prsnih mišića. Kod ovog pokreta teres major je aktivan ako se rotacija vrši pod nekim vanjskim opterećenjem, u suprotnom je neaktivan.

Pokreti ramenog pojasa prilikom vanjske i unutarnje rotacije ovise o tome gdje se ruka nalazi. Ako je ruka prilikom rotacija podignuta onda se obavezno moraju opisati i abdukcija i savijanje. U suprotnome pokrete rotacije je nemoguće opisati i objasniti.

Ukoliko je ruka u neutralnom položaju, spuštена i opuštена, moguće je postići potpuni raspon pokreta od 180°. Razlog tome je taj da se mišići koji se koriste za rotaciju ruke koriste i za stabilizaciju glave humerusa prilikom podizanja ruke.

Kod pokreta unutarnje rotacije dominantna mišićna skupina je subscapularis, latissimus dorsi, teres major, prednji deltoid te prsni mišići. Kod vanjske rotacije dominantna mišićna skupina je teres minor, infraspinatus te stražnji deltoid.

Slika 12 daje prikaz rotatora ramenog pojasa.



Slika 12 Rotatori ramenog pojasa (6)

Prema navedenom, vidimo da su mišići za unutarnju rotaciju znatno veći od onih za vanjsku rotaciju. Pošto su veći to znači da mogu proizvesti veću mišićnu silu prilikom rotacije, značajno veću nego što je potrebna za rotaciju.

Vidimo da isti mišići omogućuju više pokreta ruke i ramenog pojasa, ali svaki pokret zasebno.

Kada smo objasnili osnovne pokrete ruke i ramenog pojasa te mišićne aktivnosti prilikom tih pokreta, potrebno je promotriti i snagu mišića ramenog pojasa. Točnije, sile koje mišići stvaraju.

Mišićna sila ramenog pojasa je najveća kada pokretu doprinose mišići skupina latissimus dorsi, teres major te prsni mišići. To znači da je snaga pokreta adukcije čak duplo veća nego kod pokreta abdukcije. Ovdje se jasno vidi da što su mišićne skupine veće to su jače. Abdukcija je pokret koji se radi češće od adukcije što znači da su mišići koji izvršavaju taj pokret puno aktivniji i uvježbaniji, te bi bilo za očekivati da je snaga veća kod tog pokreta.

Gledano prema sili, koju mišići ramenog pojasa proizvode prilikom određenih pokreta, imamo da je pokret adukcije najjači. Nakon njega slijedi pokret istezanja, pokret koji koristi iste skupine mišića koje se koriste prilikom adukcije.

Odmah poslije istezanja, po snazi imamo pokret savijanja. Nakon savijanja imamo pokret abdukcije, ali dio pokreta koji se odnosi na spuštanje ruke jer se tada koriste mišići koji se koriste i prilikom adukcije i istezanja.

Odnos u jačini mišića ramenog pojasa je povezan sa odnosom dužine i sile, koja se stvara u početnoj točki. Tako imamo da su najslabiji pokreti rotacije, pri čemu je vanjska rotacija slabija od unutarnje.

Jačina ovih pokreta uvelike ovisi i o položaju u kojem se ruka nalazi, tako imamo da je najveća jačina unutarnje rotacije kada se ruka nalazi u neutralnom položaju. Dok je najveća jačina vanjske rotacije kada se ruka nalazi u fleksiji od 90°.

Kako bi se optimizirao pokret rotacije, kako unutarnje tako i vanjske, optimalna sinergija rotatorskih mišića se postiže kada se one vrše u položaju ruke od 45° abdukcije. Naime, snaga vanjske rotacije je veća pri tom položaju nego pri položaju savijene ruke na 45°.

Unutarnja rotacija stvara nestabilnosti u zglobu, pogotovo u pokretima ruke iznad ramena. Pokretom unutarnje rotacije dolazi do pritiska na mekano tkivo zbog čega dolazi do nestabilnosti zgloba.

Spomenute razlike u mišićnoj aktivnosti, ili stvaranju mišićne sile, su znatno izraženije kod osoba koje određene pokrete vrše znatno češće i intenzivnije od ostalih pokreta. Zbog toga dolazi do narušavanja ravnoteže unutar ramenog pojasa, što može dovesti do obnavljanja postojećih ozljeda ili stvaranja novih.

4. Ozljeđe i oštećenja ramenog pojasa

Ozljeđe i oštećenja ramena najčešće su povezane sa ozljedama mišića, ligamenata ili tetiva. One se najčešće javljaju kod aktivnih sportaša kroz dugi period vremena, ali je također moguća i njihova pojava uslijed nedovoljne kondicioniranosti mišića ramenog pojasa.

Prvi pokazatelj ozljeđe ili oštećenja ramena je lagana bol u samome ramenu koja kasnije može prerasti u puknuće mišića, tetive ili ligamenata.

Osim toga, ozljeđe i oštećenja mogu nastupiti i prirodnim procesom starenja. Naime, kako tijelo stari dolazi do slabljenja i razgradnje mekanog tkiva u području ramenog pojasa. Ponekad, bolovi u ruci mogu upućivati na probleme u ramenom pojasu.

Kao što smo rekli, rame ima najviše stupnjeva slobode gibanja u tijelu, te je upravo zbog toga i najpodložnije ozljedama. Moguće ozljeđe i oštećenja ramena su:

- nestabilnost ramena
- puknuće rotatorske manšete
- „smrznuto“ rame
- artritis
- istrošenost
- lom
- separacija
- dislokacija.

Nestabilnost ramena se javlja kada su mišići i ligamenti, koji ga okružuju, previše rastegnuti. Mogućnost pojave ovog stanja ramena je izuzetno velika, kako kod sportaša tako i kod ostalih ljudi. Može biti uvjetovana rastom i razvojem tijela te ponavljanjem određenih pokreta prilikom kojih dolazi do istegnuća mišića i ligamenata.

Puknuće rotatorske manšete se u biti odnosi na puknuće tetiva koje povezuju kosti i mišiće unutar rotatorske manšete. Najčešće je uzrokovana priklještenjem tetiva i ligamenata kada se ruka nalazi u položaju iznad glave. Problem kod ove ozljeđe je u tome što može dovesti do nemogućnosti pomicanja ruke te je potrebna hitna liječnička pomoć.

Hladno ili „smrznuto“ rame je stanje u kojem je rame izuzetno kruto te stvara velike bolove prilikom pomicanja. Najčešće nastaje kao posljedica nekih lakših ozljeda koje nisu pravilno ili potpuno tretirane.

Na primjer, ako se na tetivi stvori nekakav ožiljak uslijed napuknuća, taj ožiljak utječe na način na koji se zglob kreće. Time se smanjuje fleksibilnost ramena te se povećava mogućnost daljnjih ozljeda.

Istrošenost ramena se odnosi na smanjenje fleksibilnosti ramena uslijed naglog porasta opterećenja. Od svih nabrojanih ozljeda i oštećenja ovo je najlakši oblik, te se tretira sa odmorom i prebacivanjem opterećenja sa ramena.

Potrebno je objasniti razliku između dislokacije i separacije ramenog zgloba. Dislokacija ramenog zgloba se javlja kada kost nadlaktice, točnije ramenu bliži dio kosti, iskoči iz dijela koji služi kao oslonac. Ovakva ozljeda je moguća kada se ruka zarotira u neprirodni položaj i optereti ili kada se stavi u položaj hiperekstenzije prilikom nekakvog trzaja.

Separacija ramenog zgloba je ozljeda koja se događa kada dođe do pucanja ligamenata koji povezuju ključnu kost i kost lopatice. Ovakva ozljeda se javlja kod jakih udaraca u rameni pojas ili prilikom pada na ispruženu ruku. Uslijed ovakve ozljede gubi se veliki dio raspona pokreta ruke.

Sve ozljede i oštećenja ramena moguće je spriječiti rehabilitacijom i preventivnim vježbanjem mišića ramenog pojasa. Kao što smo rekli, mišići ramenog pojasa su aktivni stabilizatori ramena prilikom pokreta. Logično je zaključiti da se, ako su mišići atrofirani ili nedovoljno razvijeni, povećava rizik od ozljeda.

Tonus mišića ramenog pojasa je ključno održavati kako bi se spriječile ozljede i oštećenja te kako bi se dnevne aktivnosti i zadaci mogli obavljati neometano i bez bolova. Njega je moguće održavati kroz rehabilitacijsko vježbanje ili kroz rekreacijske sportske aktivnosti.

Pri tome se opterećenje prebacuje na velike mišićne skupine. Razlog tome je upravo zbog toga što su velike mišićne skupine aktivni stabilizatori prilikom pokreta pod velikim opterećenjem ili prilikom trzaja. U stanju mirovanja ili prilikom pokreta pod malim opterećenjem, šanse da dođe do ozljede su minimalne.

5. Vježbanje ramenog pojasa

Rehabilitacijom i vježbanjem ramenog pojasa se omogućuje postizanje potpunog raspona pokreta ramenog zgloba bez bolova.

Rehabilitaciju je izuzetno važno provesti nakon operacije kako bi se izbjegla prevelika atrofija mišića ramenog pojasa, te samim time spriječile moguće ponovne ozljede.

Vježbanje ramenog pojasa se izvršava nizom pokreta sa opterećenjem čime se postiže stabilnost ramenog pojasa. Pokreti se mogu vršiti ili u ležećem ili u uspravnom položaju. To naravno ovisi o vježbi, točnije o tome koji mišići sudjeluju u ostvarivanju pokreta. Pokreti na koje se posebno obraća pažnja su savijanje, istezanje, abdukcija i addukcija. Svaki od ovih pokreta je ranije u radu objašnjen.

Prilikom rehabilitacije teži se tome da se postigne određena ravnoteža između fleksibilnosti i jakosti mišića koji održavaju rame sigurnim i stabilnim.

Povećavanjem jačine djelovanja mišića ramenog pojasa dobiva se na stabilnosti ramenog zgloba te se uklanjaju bolovi u mišićima. Razvijanjem fleksibilnosti mišića ramenog pojasa omogućuje se postizanje normalnog raspona pokreta. Time se poboljšava prokrvljenost mišića te se sprječava pucanje mišićnih vlakana i osjećaj ukočenosti ramena.

Vježbama koje će biti navedene ciljaju se sljedeće mišićne grupe:

- deltoidi (prednje, stražnje i bočno rame)
- trapezijus i romboid (gornji dio leđa)
- biceps i triceps (mišići nadlaktice)
- manje mišićne skupine oko ramenog zgloba.

Jedna od početnih vježbi za stabilizaciju ramenog zgloba je pasivna vanjska rotacija. Prilikom izvođenja ove vježbe dolazi do primjenjivanja maksimalne sile na nepomični oslonac.

Nepomični oslonac može biti i suprotna ruka od one koju rotiramo. Pri tome je bitno lakat, ruke koju istežemo, držati uz tijelo kako bi bilo moguće pravilo istezanje. Slika 13 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe.

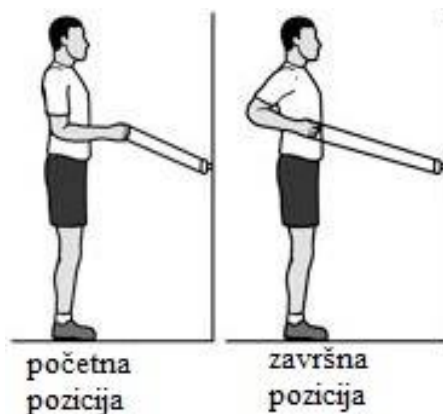


Slika 13 Pasivna vanjska rotacija (7)

Ovom vježbom se istežu te ujedno i zagrijavaju skupine malih leđnih mišića koji su zaslužni za stabilnost ramenog zgloba u mirovanju.

Sljedeća vježba je veslanje. Vježba se izvodi na način da se elastična traka jednim krajem pričvrsti na nepomični oslonac dok se drugi kraj nalazi u ruci. Elastična traka ne bi smjela biti prevelike krutosti kako ne bi došlo do aktivacije neželjenih mišićnih skupina.

Elastična traka se povlači tako da lakat ruke prolazi uz tijelo sve dok traka ne dođe do prsnog koša. Početna pozicija je ona u kojoj se lakat nalazi uz tijelo a podlaktica ispred tijela. Ovom vježbom dolazi do aktivacije mišićne skupine trapezijus i stražnji deltoid, te se postiže stabilnost tih skupina. Slika 14 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe.

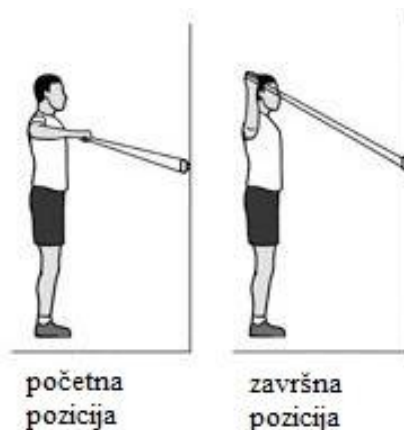


Slika 14 Veslanje (7)

Iduća vježba za stabilizaciju je vanjska rotacija sa abdukcijom ruke pod 90°. Ova vježba također pogađa skupine mišića koji se nalaze u gornjem dijelu leđa (oko lopatice), takozvane rotatore. Elastična traka se jednim krajem pričvršćuje za nepomični oslonac, dok se drugi kraj nalazi u ruci korisnika. Vježba se izvodi na način da se ruka nalazi u abdukciji te se nadlaktica ne pomiče.

U položaju abdukcije rukom se povlači elastična traka prema natrag i to na način da se ostvaruje samo rotacija nadlaktice, pri čemu ne smije doći do horizontalnog ili vertikalnog pomicanja.

Slika 15 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe.



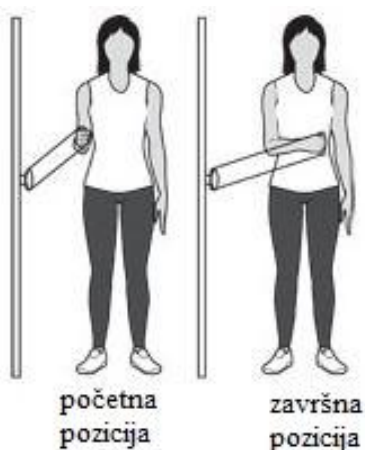
Slika 15 Vanjska rotacija sa abdukcijom ruke pod 90° (7)

Prilikom izvođenja ove vježbe ključno je osigurati da lakat ruke kojom izvodimo vježbu stoji paralelno sa ramenom te iste ruke.

Sljedeća vježba za stabilizaciju i sigurnost ramena je unutarnja rotacija. Princip izvođenja vježbe je isti kao i kod ranije spomenutih vježbi. Jedan kraj elastične trake se pričvršćuje za nepomični oslonac dok se drugi kraj nalazi u ruci.

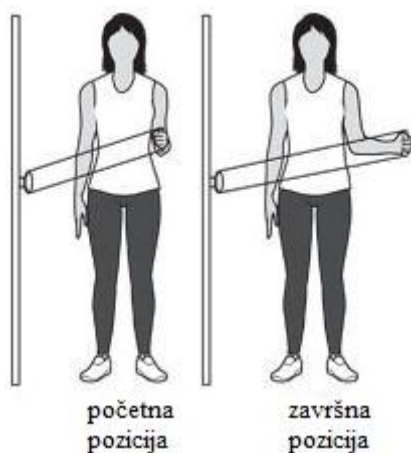
Ovom vježbom se postiže efekt stabilizacije ramenog zgloba pomoću prsnog mišića. Elastična traka se povlači prema unutrašnjosti tijela, dok se lakat nalazi uz trup a podlaktica ispred tijela. Kako bi ova vježba imala puni učinak na gađanu skupinu mišića potrebno je lakat, prilikom izvođenja vježbe, držati uz trup.

Slika 16 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe. Izvođenjem ove vježbe također dolazi do aktivacije rotatora ramena. Rotatori ramena su mišići rotatorske manšete, kako je ranije pojašnjeno.



Slika 16 Unutarnja rotacija (7)

Vježba jako slična prethodnoj, unutarnjoj rotaciji, je vanjska rotacija. Vježba se vrši na isto postavljenoj elastičnoj traci samo što slobodni kraj trak ide u suprotnu ruku. Rotacija nadlaktice se vrši tako da šaka i traka idu od tijela. Ova vježba ciljano djeluje na mišićnu skupinu stražnjeg ramena. Prilikom izvođenja ove vježbe također je potrebno lakat držati uz trup te u krajnjoj točki stisnuti lopatice jednu prema drugoj. Slika 17 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe. Mišići koji se aktiviraju su isti kao i u prethodnoj vježbi.



Slika 17 Vanjska rotacija (7)

Pored spomenutih vježbi izvede se još dvije vježbe za mišiće nadlaktice. Tako imamo iduću vježbu, savijanje lakta. Za razliku od ostalih, ova vježba se izvodi sa utezima opterećenja koje odgovara korisniku. Naravno sa opterećenjem se ne bi smjelo pretjerivati kako ne bi došlo do narušavanja odnosa u snazi među mišićnim skupinama. Vježba se izvodi tako da se, u uspravnom položaju, laktovi drže uz tijelo te se vrši savijanje ruke.

Prilikom fleksije uteg se dovodi do ramena gdje se zadržava dvije sekunde te se vraća u početni položaj. Pokret savijanja bi trebao trajati tri do pet sekundi, dok bi pokret relaksacije, ili vraćanja u početni položaj trebao trajati isto toliko. Slika 18 daje prikaz izvođenja vježbe.



Slika 18 Savijanje lakta (7)

Vježba suprotna prethodnoj je istezanje lakta. To je vježba koja također gađa mišiće nadlaktice, u ovom slučaju prvenstveno skupinu triceps. Kod prethodne skupine mišića je to bila skupina biceps.

Vježba se izvodi tako da se ruka stavlja u početni položaj iznad glave. Pri tome se podlaktica nalazi iza glave te se uteg podiže iznad glave. Krajnja pozicija ruke je kada je podlaktica u potpunoj istegnuću iznad glave. Položaj tijela prilikom izvođenja vježbe je uspravan, pri čemu sa suprotnom, mirujućom, rukom podupiremo aktivnu ruku na području nadlaktice. Slika 19 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja vježbe.



Slika 19 Istezanje lakta (7)

Jedna od ključnih vježbi je i ona koja jača, u istom pokretu, mišićnu skupinu srednjih i stražnjih deltoida skupa sa mišićnom skupinom trapezijus.

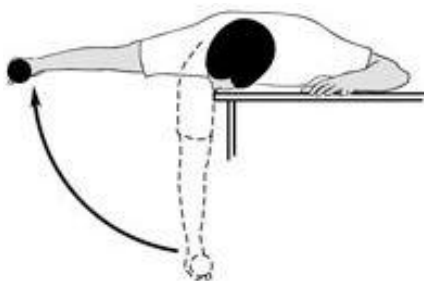
Sljedeća vježba ima upravo takvu ulogu te se može izvoditi sa utezima ili sa elastičnom trakom. Izvodi se uz pomoć stolice ili klupe, na način da se suprotnom rukom i koljenom korisnik osloni na njih. Položaj tijela je takav da se sva težina tijela prebacuje na oslonjenu ruku i koljeno te trup stoji paralelno sa tlom. Ruka u kojoj se nalazi uteg, ili traka, se nalazi u potpunoj ekstenziji tako da uteg u početnoj poziciji vuče ruku prema tlu. Pokret se odvija tako da se ruka, u potpunoj ekstenziji, pomiče prema natrag. Točnije, pokret se vrši dok ruka ne dođe do pozicije u kojoj je paralelna sa trupom. Slika 20 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe.



Slika 20 Stražnji zaveslaj (7)

Osim vježbi koje se vrše u uspravno poziciji, ima i veliki broj vježbi koji se vrši u ležećoj poziciji. Vježbe u ležećoj poziciji su relativno slične onima u stajaćoj poziciji te su prikladnije osobama koje se oporavljaju od operacija ili nekakvih težih ozljeda.

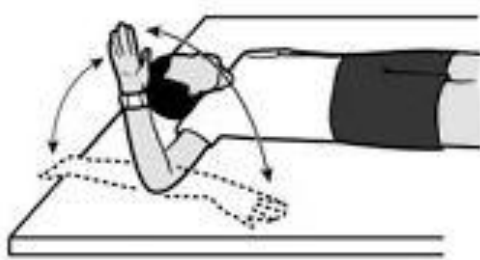
Jedna od takvih vježbi je horizontalna abdukcija. Prilikom izvođenja vježbe, osoba se nalazi na trbuhu na stolu ili krevetu. Početni položaj je taj u kojem se ruka nalazi ispred tijela u potpunoj ekstenziji. Vježba se izvršava tako da se ruka iz početnog položaja podiže sve dok ne dođe u položaj u kojem se nalazi paralelno sa trupom. Izvođenjem ove vježbe dobiva se na stabilnosti i snazi mišićnih skupina trapezijus i stražnjeg deltoida. Slika 21 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja vježbe.



Slika 21 Horizontalna abdukcija (7)

Iduće vježbe koje se izvode u ležećem položaju su unutarnja i vanjska rotacija. Izvodi se sa utegom kako bi bilo moguće ostvariti konstantno opterećenje prilikom oba pokreta.

Osoba se nalazi na leđima te je početni položaj ruke u abdukciji, pri čemu je podlaktica okomita na podlogu a nadlaktica se nalazi na podlozi. Rotacije se vrše na način da se podlaktica pomiče, nadlaktica rotira, tako da prilikom unutarnje rotacije dlan šake bude na podlozi te da prilikom vanjske rotacije stražnji dio šake bude na podlozi. Ovo je poprilično kompleksna vježba, jer prilikom njezinog izvođenja dolazi do aktivacije mišićnih skupina prednjeg i stražnjeg deltoida te prsnih mišića. Slika 22 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja vježbe.



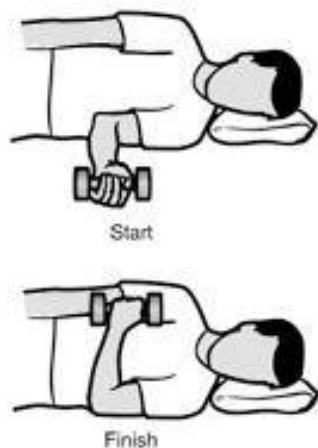
Slika 22 Horizontalna unutarnja i vanjska rotacija (7)

Za rehabilitaciju ramenog zgloba, ostaje nam objasniti još dvije vježbe. Vježbe su jako slične već spomenutim vježbama koje se izvode u stajaćem položaju. Razlika je u tome što se ove vježbe izvode dok osoba leži na boku pri čemu je moguće ostvariti veće opterećenje ramenog zgloba. Vanjska rotacija u bočnom položaju služi za vraćanje stabilnosti mišićnoj skupini stražnjeg deltoida, a izvodi se na način da osoba slobodnu ruku pomiče isto kao na slici 17, prilikom izvođenja stajaće vanjske rotacije. Također, ključno je da je lakat ruke kojom se vježba, stalno u kontaktu sa trupom. Slika 23 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja ove vježbe.



Slika 23 Bočna vanjska rotacija (7)

Vježba koja se vrši u istoj poziciji tijela, samo sa suprotnom rukom, je bočna unutarnja rotacija. Vršiti se na način da se uteg prima u ruku koja je na podlozi te je početna pozicija kada se uteg nalazi u šaci na podu. Krajnja pozicija vježbe je ona u kojoj se uteg nalazi na prsima osobe koja izvodi vježbu. Pokret vježbe je jako sličan onome prikazanome na slici 16. Slika 24 daje prikaz položaja tijela prilikom izvođenja vježbe.



Slika 24 Bočna unutarnja rotacija (7)

5.1. Postojeće sprave za kondicioniranje ramenog pojasa

Kondicioniranje i vježbanje ramenog pojasa se može vršiti na razno raznim spravama, ali isto tako i bez njih, kako je objašnjeno u prethodnom poglavlju.

Imajući u vidu da su u prethodnom poglavlju objašnjene vježbe koje se izvode bez sprava, u ovome poglavlju će biti objašnjene vježbe koje se izvode na spravama. Osim toga obratiti će se pažnja na konstrukcijska rješenja takvih sprava te njihove značajke.

Slika 25 daje prikaz jedne takve vježbe i sprave, sprava za bočno podizanje.



Slika 25 Sprava za bočno podizanje (2)

Bočno podizanje je izolacijska vježba koja pogađa bočne deltoide koji su često značajno zapostavljeni. Pomoću sprave prikazane na slici 25 moguće je ostvariti samo izolacijsko kondicioniranje spomenute mišićne skupine.

Ranije je rečeno da se treba težiti sinergijskom učinku vježbanja te je zbog toga ova sprava neadekvatna.

Slika 26 daje prikaz sprave za podizanje iznad glave i način izvođenja vježbe. Ova sprava je jako učestala u rekreacijskom centru te se vrlo često koristi.



Slika 26 Sprava za podizanje iznad glave (2)

Podizanje iznad glave se također može smatrati izolacijskom vježbom. Tokom njezinog izvođenja dolazi do aktivacije i kondicioniranja prednjih deltoida. Također se izostavlja sinergijski učinak kondicioniranja. Kao i kod prethodne vježbe, imamo da sprava omogućuje kondicioniranje samo jedne skupine mišića, te zbog toga nije adekvatna. Još jedan od problema kod korištenja ove sprave je u tome što se stvara izuzetno opterećenje na rameni zglobovima te je pojava, ili obnavljanje ozljede vrlo često.

Slika 27 daje prikaz još jedne sprave za kondicioniranje mišića ramenog pojasa.



Slika 27 Sprava za kondicioniranje stražnje strane ramena (2)

Sprava prikazana na slici 27 je sprava za kondicioniranje mišića stražnjeg dijela ramenog pojasa. Od navedenih sprava, ovo je jedina sprava koja omogućuje djelomično sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa. Djelomično je upravo zbog toga što omogućuje kondicioniranje samo mišića stražnjeg dijela ramena.

Pored navedenih sprava, kondicioniranje ramenog pojasa je moguće i vježbama sa slobodnim utezima. To su pretežito vježbe koje se sastoje od kompleksnih pokreta te se izvode pod stručnim nadzorom. Ukoliko se ti kompleksni pokreti ne izvode pravilno može doći do pogoršanja početnog stanja, te samim time i stvaranja novih ozljeda. Neke od takvih vježbi su nabačaj sa izbačajem i visoko sumo podizanje.

Vježbanjem na takvoj spravi moguće je ostvariti sinergiju stražnjeg deltoida, trapezijusa i nekih od mišića rotatorske manšete. Sprava ipak nije adekvatna za kondicioniranje ramenog pojasa jer se zapostavljaju mišići prednje i gornje strane ramena.

Kao što se vidi na slikama 25, 26 i 27 sve sprave su poprilično jednostavne izvedbe i izgleda. Svi prijenosi sila i opterećenja su izvršeni na principu poluga i kolotura što dodatno pojednostavljuje izvedbu sprava.

Osim toga sprave su jednostavne i intuitivne za korištenje, što se od njih zahtjeva i očekuje.

Sprava za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa bi također trebala biti jednostavne izvedbe i konstrukcije. Uz to treba biti intuitivna i sigurna za korištenje kako ne bi došlo do nazadovanja u kondicioniranosti mišića ramenog pojasa.

6. Definiranje pokreta za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa

Kao što se vidi iz ranije navedenog, kondicioniranje ramena je iznimno zahtjevan proces koji zahtjeva nadzor stručne osobe. Potreba za nadzorom se može minimizirati na način da se korisniku omogući sigurno i pravilno izvođenje navedenih vježbi, što je moguće osigurati konstrukcijski

Vježbe za rehabilitaciju i preventivno vježbanje ramenog pojasa se mogu podijeliti u dvije grupe: one koje se izvode slobodnim pokretima i one koje se izvode na spravama. Vježbe iz tih grupa su same po sebi jako slične, neki pokreti su čak i identični, ali je razlika u tome što se omogućuje povećavanje opterećenja na terapijski ciljane mišiće.

Također, primjena vježbi koje se izvode slobodnim pokretom je najčešća kod osoba koje su imale operaciju ramenog zgloba ili se oporavljaju od ozljede istoga. Glavna svrha primjene takvih vježbi je u tome da se smanji opterećenje na sami zglob, to jest kako bi se izbjegao direktan utjecaj težine utega ili ruke na rameni zglob.

Navedene i objašnjene vježbe se mogu smatrati i kao smjernice što uređaj za rehabilitaciju ramenog zgloba treba omogućiti korisniku.

Također, prilikom izvođenja vježbi može doći do pojave bolova ili nelagode u ramenu te je potrebno korisniku omogućiti sigurno prekidanje vježbanja.

Ukoliko se pokret ne zaustavi na vrijeme može doći do značajnijih ozljeda te se čak prvobitno stanje može pogoršati. Samim time se i oporavak produžuje što bi se u svakom slučaju trebalo izbjeći.

Osim sigurnosti i pravilnosti izvođenja navedenih vježbi, potrebno je obratiti pozornost i na proporcionalnost jakosti pojedinih mišića.

Ukoliko dođe do prevelike razlike u jačini susjednih mišićnih skupina, može doći do negativnog učinka rehabilitacije i preventivnog vježbanja.

Razlog negativnog učinka je u tome što su svi zglobovi u tijelu okruženi mišićima. Ti mišići najčešće rade u parovima, što znači da je jedan mišić zadužen za jedan pokret dok je njegov par zadužen za suprotan pokret.

Ukoliko je jedan mišić u paru puno jači od drugoga, dolazi do toga da zglob ispada iz ravnoteže, to jest, jači mišić ga vuče više prema sebi te se povećava mogućnost ozljeda.

Prema prikazanim i objašnjenim vježbama može se zaključiti koje grupe mišića su dominantne dok se vježbe izvode.

Može se jednostavno zaključiti da su to mišićne skupine deltoida i mišića rotatorske manšete. Tri skupine deltoida su aktivne prilikom svakog pokreta, te su deltoidi ujedno i jedini aktivni podizači ramena, to jest ruke.

Iz opisanih vježbi i ranije objašnjene biomehanike ramenog pojasa, vidljivo je da mišići ramenog pojasa djeluju u kombinaciji jedni s drugima. Zbog toga je poprilično teško ostvariti izolaciju pojedinih mišića, što je u slučaju ramenog zgloba i nepoželjno.

Tokom vježbanja ramenog pojasa potrebno je posebno obratiti pažnju kada se radi sa vanjskim opterećenjem. Kod bočnog podizanja tereta dolazi do aktivacije bočnog deltoida čime može doći do priklještenja mekanog tkiva ili ligamenata što može uzrokovati ozljede i iritacije.

Kako bi se prilikom vježbanja izbjegle mogućnosti ozljede ili poticanja ozljede potrebno je pronaći optimalan pokret za izvođenje vježbe.

Bočno podizanje opterećenja je jedna od rijetkih vježbi koja zahtijeva sinergiju mišićnih skupina zaslužnih za podizanje ruke i onih zaslužnih za rotaciju. Pri tome se, također, vrši kondicioniranje najčešće zapostavljene mišićne skupine ramenog pojasa, bočnog deltoida.

Kako bi se izbjeglo priklještenje mekog tkiva ili ligamenata prije samog pokreta bočnog podizanja potrebno je rotirati ruku prema van. Time se od rotatora traži aktivacija te dolazi do preraspodjele sila u mišićima.

Razmatrajući do sada sve navedeno i objašnjeno nameće se zaključak da se optimalni pokret, kojim bi se kondicioniralo rameni pojas, ne može jednoznačno odrediti. Razlog tome je u stupnju složenosti ramenog pojasa te raznovrsnosti mogućih pokreta.

Ipak, postoje opcije pokreta koje omogućuju ostvarivanje sinergije mišića ramenog pojasa, prvenstveno mišićne skupine deltoida. Možemo reći da su za naše potrebe optimalni pokreti oni koji omogućuju sinergiju mišićnih skupina deltoida te rotatorske manšete.

Ranije u radu je utvrđeno da su glavni podizači ruke, a samim time i ramena, upravo mišići skupine deltoid i supraspinatus. Osim njih bitni su mišići rotatorske manšete, kao što su mišići skupine subscapularis i infraspinatus.

Navedeni mišići rotatorske manšete su zaslužni za unutarnju i vanjsku rotaciju ramena, to jest kosti humerus. Ranije je objašnjena funkcionalnost mišića ramenog pojasa te ju stoga nećemo ponovno objašnjavati.

Zaključno iz biomehaničke analize anatomije i funkcionalnosti mišića ramenog pojasa, zaključeno je da je pokret koji omogućuje sinergijski učinak upravo abdukcija sa laganom fleksijom lakta. Pri takvom pokretu imamo da su aktivne sve mišićne skupine deltoida, dok su njihovi sinergisti mišićne skupine supraspinatus, infraspinatus, subscapularis te teres minor. Bitno je napomenuti da, iako su sve aktivne, mišićne skupine deltoida nisu aktivne u jednakoj mjeri. Tako imamo da su prednja i bočna skupina deltoida znatno aktivnije od stražnje skupine deltoida. Skupina stražnjih deltoida preuzima ulogu stabilizatora glenohumeralnog zgloba te zbog toga i nije potrebna velika aktivnost ove skupine mišića.

Podizanjem ruke, ili abdukcijom, dolazi do aktivacije i sinergijskog djelovanja deltoida i supraspinatusa, dok rotacijom dolazi do aktivacije i sinergijskog djelovanja mišića rotatorske manšete i deltoida.

Pokret za sinergijsko vježbanje mišića ramenog pojasa možemo podijeliti u četiri faze.

Prva faza, ili početna faza, je savijanje ramena. U ovoj fazi dolazi do aktivacije mišićnih skupina deltoida i supraspinatusa. Pokret se vrši rotacijom oko horizontalne osi ramena te je krajnja točka ove faze kada ruka dođe u horizontalnu ravninu sa ramenom.

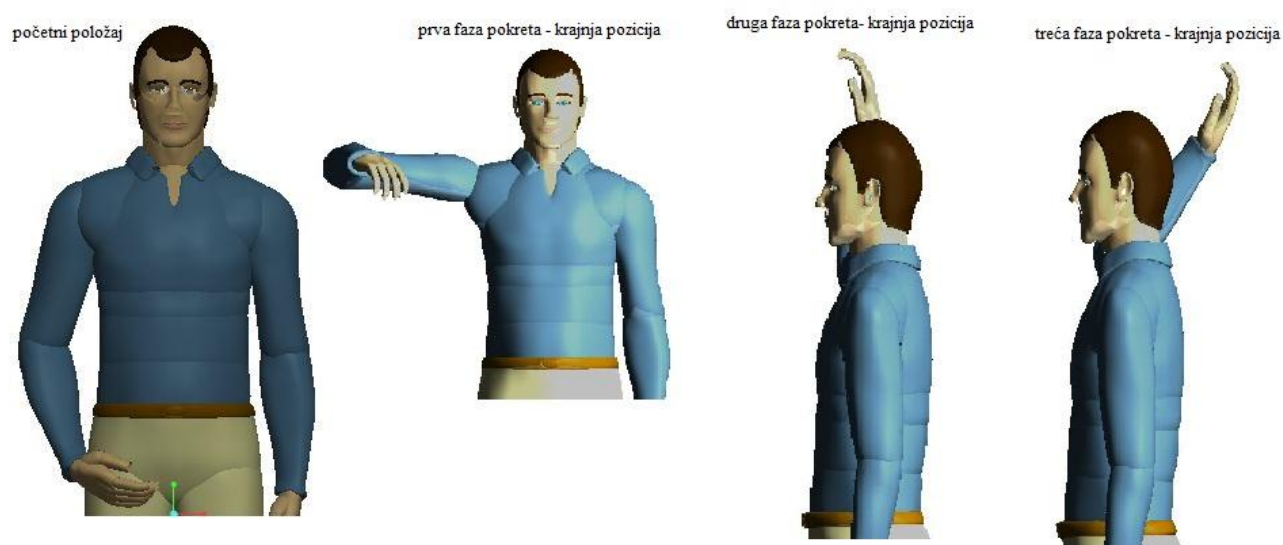
Druga faza je ona u kojoj dolazi do podizanja ruke iznad glave. Tijekom ove faze dolazi do jače aktivacije mišićne skupine supraspinatusa te rotatorske manšete. Konačna točka ove faze je onda kada se ruka nalazi točno iznad glave.

Treća faza pokreta je potpuna aktivacija rotatorske manšete. U ovoj fazi ruka dolazi u poziciju iza glave pri čemu se ostvaruje aktivacija mišićnih skupina teres minor, infraspinatus i subscapularis. Pokret se vrši, također, rotacijom oko horizontalne osi ramena.

Četvrta, posljednja, faza pokreta je vraćanje ruke u početni položaj. Pri tome dolazi do aktivacije mišićnih skupina latissimus dorsi, deltoidi i teres major.

Razlaganjem pokreta u faze jednostavno je uočiti koje mišićne skupine se aktiviraju u određenom položaju. Vidimo da je objašnjeni pokret poprilično kompleksan, ali omogućuje sinergijsko vježbanje mišića ramenog pojasa. Svaki od spomenutih mišića je ključan za normalno funkcioniranje ramenog pojasa, te ih ne bi trebalo kondicionirati odvojeno.

Slika 28 daje prikaz odabranog optimalnog pokreta za sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa, podijeljenog po fazama.



Slika 28 Pokret za sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa

Nakon što smo definirali željeni pokret za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa možemo početi sa postavljanjem zahtjeva na konstrukciju pristupiti konstrukcijskoj razradi.

7. Konstrukcijska razrada

7.1. Tehnički upitnik i definicija problema

1. Što je stvarni problem koji treba riješiti?

Potrebno je osmisлити i konstruirati uređaj koji omogućuje kondicioniranje mišića ramenog pojasa. Pri tome je potrebno omogućiti što aktivnije djelovanje sinergista, kako bi se omogućilo sinergijsko kondicioniranje.

2. Koja implicitna očekivanja i želje je potrebno uključiti u razvoj?

Konstrukcija mora biti jednostavna i intuitivna za korištenje. Osim toga potrebno je ostvariti sigurnost korisnika, te omogućiti prilagodljivost antropometriji različitih korisnika.

3. Da li su pretpostavljene potrebe korisnika, funkcionalni zahtjevi i ograničenja zaista realni?

Pretpostavljene potrebe su realne, te proizlaze iz nedostatka takvih sprava na tržištu.

4. U kojim smjerovima postoje mogućnosti za kreativni razvoj i inventivno rješavanje problema?

Smjerovi u kojima postoji mogućnost kreativnog rješavanja su: mogućnost kontroliranja pokreta, praćenje mišićne aktivnosti prilikom vježbanja, regulacija promjene opterećenja, prilagođavanje optimalnoj trajektoriji.

5. Ima li limita na kreativnost u razvoju?

Limiti na kreativnost su: cijena proizvodnje, dimenzije uređaja, cijena održavanja, vrste pokreta koji se mogu postići.

6. Koje karakteristike ili svojstva proizvod nužno mora imati?

Karakteristike ili svojstva koje proizvod mora imati su: mora omogućiti sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa, mora imati sigurnosni mehanizam u slučaju ozljede, mogućnost odabira opterećenja te regulacija pokreta.

7. Koje karakteristike proizvod ne smije imati?

Karakteristike koje proizvod ne smije imati su: složeno korištenje, neprilagodljivost antropometriji korisnika, složeno korištenje te neprilagodljivost antropometriji korisnika.

8. Koji se aspekti razvoja mogu i trebaju kvantificirati u ovom trenutku?

Određivanje optimalne putanje pokreta za sinergijsko kondicioniranje te omogućavanje tog istog pokreta.

9. Da li su razvojni zadaci postavljeni na prikladnoj razini apstrakcije?

Cilj je postići sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa na način da se utvrdi optimalna putanja takvog pokreta. Osim toga potrebno je konstruirati spravu koja taj pokret može omogućiti.

10. Koja su tehnička i tehnološka ograničenja naslijeđena iz prethodnog iskustva sa sličim proizvodom?

Cijena proizvoda na tržištu, utvrđivanje i omogućivanje optimalne putanje pokreta.

7.2. Definicija cilja razvoja

DEFINICIJA CILJA ZA RAZVOJ PROIZVODA	Naziv projekta: Naprava za vježbanje mišića ramenog pojasa	Datum: 6.10.2014.
Opis proizvoda:		
Naprava za vježbanje mišića ramenog pojasa koja treba omogućiti sinergijski učinak mišića. Kompleksnim pokretom omogućuje kondicioniranje ramenog pojasa, te sprječavanje ozljeda.		
Primarno tržište:		
Rekreacijski centri, rehabilitacijski centri, teretane		
Sekundarno tržište :		
Privatni korisnici (kod kuće), sportski klubovi, akademske ustanove		
Koje karakteristike se podrazumijevaju:		
Jednostavnost korištenja, sigurnost prilikom korištenja, mogućnost odabira opterećenja, mogućnost prilagođavanja antropometriji korisnika		
Ciljane grupe korisnika:		
Profesionalni sportaši, sportaši amateri, osobe u procesu rehabilitacije od ozljede, znanstvenici, kineziolozi		
Pravci kreativnog razvoja:		
Mogućnost izvođenja više različitih vježbi, praćenje mišićne aktivnosti prilikom vježbanja		
Limiti projekta:		
Cijena proizvodnje, tehnoložnost, dimenzije, složenost korištenja		

7.3. Zahtjevi na konstrukciju

Prije formiranja funkcijske dekompozicije naprave za kondicioniranje mišića ramenog pojasa i morfološke matrice mogućih rješenja, potrebno je definirati zahtjeve koje naprava mora ispuniti. Zahtjevi na konstrukciju su ujedno i funkcije koje se nalaze u funkcijskoj dekompoziciji naprave. Naravno funkcije se deriviraju iz zahtjeva.

Zahtjevi se definiraju prema biomehanici ramenog pojasa te prema pokretu za sinergijsko kondicioniranje, koji smo odredili i objasnili prethodno u tekstu. Zahtjevi na konstrukciju se mogu podijeliti na primarne i sekundarne.

Primarni zahtjevi na konstrukciju su oni zahtjevi koji se odnose na njezinu funkcionalnost i primjenjivost. Gledano iz te perspektive konstrukcija bi trebala omogućiti korisniku izbor opterećenja koje se želi koristiti, isto tako treba omogućiti prilagođavanje antropometriji korisnika. Najvažnija funkcija naprave, bez koje ne bi imala smisla, je ta da omogući sinergijsko kondicioniranje mišića ramenog pojasa. Primarni zahtjevi moraju biti implementirani u napravi.

Sekundarni zahtjevi se odnose na sigurnost korisnika i okoline te ne moraju biti implementirane, ali bi to itekako bilo poželjno. Tako imamo da naprava treba omogućiti korisniku hitno zaustavljanje u slučaju nezgode ili pojave bolova. Osim toga potrebno je korisnika zaštititi od pokretnih dijelova naprave, točnije korisniku onemogućiti pristup pokretnim dijelovima. Hitno zaustavljanje je potrebno kod korištenja naprave od strane osoba koje su nedavno imale ozljedu ramena. Razlog tome je kako ne bi došlo do obnavljanja ozljede ili stvaranja nove ozljede.

Tablica 1 daje prikaz zahtjeva za napravu za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa.

Tablica 1 Zahtjevi na napravu za kondicioniranje ramenog pojasa

Zahtjevi na konstrukciju	
Primarni zahtjevi	Sekundarni zahtjevi
<ul style="list-style-type: none"> - Skupno djelovanje više različitih mišića - Korisnici raznih antropometrijskih mjera mogu koristiti - Opterećenje pravilno povezati - Proizvoljni odabir opterećenja - Ostvariti pokret za djelovanje više mišića 	<ul style="list-style-type: none"> - Zaustaviti u slučaju ozljede ili bolova - Prikleštenje onemogućiti - Formu pokreta održati

7.4. Funkcijska dekompozicija

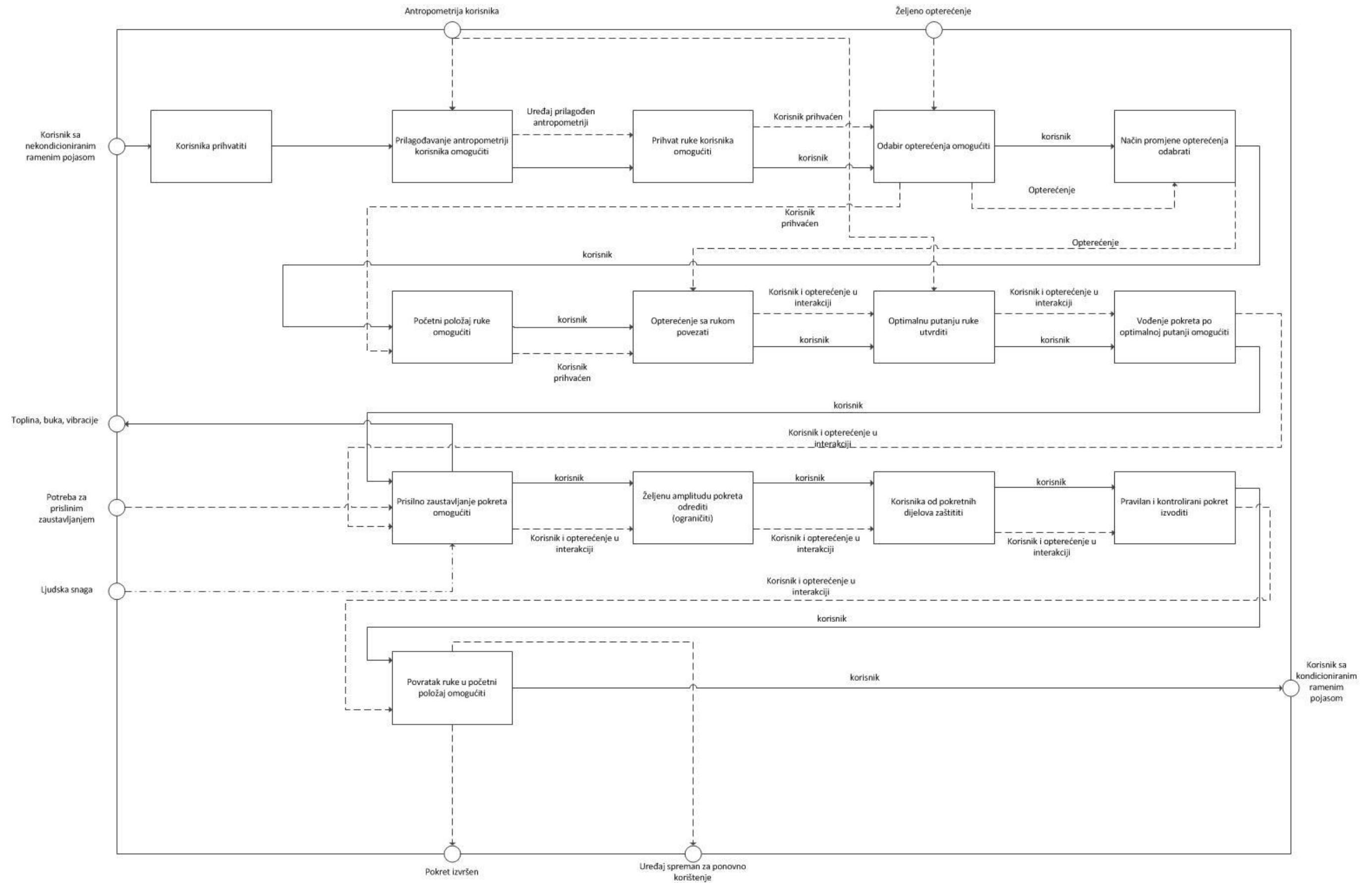
Funkcijska dekompozicija proizlazi direktno iz ranije definiranih potreba i zahtjeva na napravu. Funkcije koje se nalaze u funkcijskoj dekompoziciji su pretvorene, derivirane, iz zahtjeva te se odnose na to što treba napraviti, a ne kako. Prije same izrade funkcijske dekompozicije potrebno je iz zahtjeva i potreba, koje naprava mora imati, izvesti potrebne funkcije naprave. Tablica 2 daje prikaz funkcija dobivenih iz zahtjeva.

Tablica 2 Definiranje funkcija

Definiranje funkcija	
Zahtjevi na napravu	Funkcije naprave
<ul style="list-style-type: none"> - Skupno djelovanje više mišićnih skupina - Korisnici različitih antropometrijskih mjera ju moraju moći koristiti - Opterećenje pravilno povezati - Proizvoljni odabir opterećenja - Ostvariti sinergijsko djelovanje - Zaustavljanje u slučaju bolova - Prikleštenje onemogućiti - Formu pokreta održati 	<ul style="list-style-type: none"> - Optimalnu putanju ruke utvrditi - Prilagođavanje antropometriji korisnika omogućiti - Opterećenje sa rukom povezati - Odabir opterećenja omogućiti - Vođenje pokreta po optimalnoj putanji omogućiti - Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti - Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi - Željenu amplitudu pokreta odrediti - Početni položaj ruke omogućiti

Prema tablici 2 vidimo da su derivirane funkcije jednoznačno vezane uz zahtjeve na koje se odnose. Derivirane funkcije naprave su međusobno povezane, što je i logično. Tako na primjer imamo da su funkcije „Optimalnu putanju ruke utvrditi“, „Prilagođavanje antropometriji korisnika omogućiti“ te „Vođenje po optimalnoj putanji omogućiti“ usko povezane jer jedna uvjetuje drugu.

Optimalnu putanju ruke utvrđujemo prema antropometriji korisnika, stoga je potrebno omogućiti prilagođavanje antropometriji korisnika. Optimalnu putanju prilagođenu antropometriji korisnika je potrebno ostvariti, te zbog toga imamo funkciju „Vođenje pokreta po optimalnoj putanji omogućiti“. Analogno tome imamo vezu između funkcija „Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti“ i „Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi“. Slika 29 daje prikaz funkcijske dekompozicije naprave za kondicioniranje ramenog pojasa.



Slika 29 Funkcijska dekompozicija naprave

Prema slici 29 vidimo da su ulazne vrijednosti naprave: antropometrija korisnika, iznos željenog opterećenja, ljudska snaga, potreba za zaustavljanjem te korisnik sa nekondicioniranim ramenim pojasom.

Izlazne vrijednosti su toplina, buka i vibracije koje nastaju prilikom korištenja naprave te koje nastaju prilikom prisilnog zaustavljanja. Osim toga izlazne vrijednosti su informacije da je pokret izvršen te da je uređaj spreman za ponovno korištenje. Najvažnija izlazna vrijednost je korisnik sa kondicioniranim ramenim pojasom, što je i svrha naprave.

U funkcijskoj dekompoziciji prikazanoj na slici 29 glavna funkcija je funkcija u kućici „Pravilan i kontrolirani pokret izvoditi“. Moguće je funkcijsku dekompoziciju napraviti pojednostavljeno tako da se sve funkcije prije spomenute glavne funkcije svrstaju u jednu funkciju pod nazivom „Pravilno i kontrolirano izvođenje pokreta omogućiti“.

Idući korak u konstrukcijskoj razradi naprave je formiranje morfološke matrice. Morfološka matrica se radi prema funkcijskoj dekompoziciji, točnije prema funkcijama koje se nalaze unutar nje. Funkcijska dekompozicija se odnosila na to „što“ naprava treba raditi i pružiti korisniku, dok se morfološka matrica odnosi na to „kako“ te funkcije treba napraviti i time ispuniti definirane zahtjeve.

7.5. Morfološka matrica

Kao što je ranije rečeno, morfološka matrica nam daje uvid u moguća rješenja funkcija deriviranih iz zahtjeva. Prema mogućim rješenjima za svaku funkciju odabiru se i koncepti. U morfološkoj matrici prednost, prilikom kombiniranja, se daje glavnim funkcijama proizvoda, ili naprave, jer one određuju princip rada cjelokupne naprave.






Sama morfološka matrica će biti prikazana kroz iduće tablice.

Tablica 3

Prihvat korisnika omogućiti - morfološka matrica

1. Prihvat korisnika omogućiti	
<p>stolica - nepodesiva</p> 	<p>stolica - podesiva</p> 
<p>stolica – bez naslona</p> 	<p>naslon za leđa (prsa)</p> 



Tablica 4 **Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti - morfološka matrica**

2. Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti	
<p>mehanizam sa osiguračem (svornjakom)</p> 	<p>priteznik</p> 
<p>svornjak sa oprugom</p> 	<p>princip škara</p> 
<p>vreteno i matica</p> 	

Tablica 5 Prihvat ruke korisnika omogućiti - morfološka matrica

3. Prihvat ruke korisnika omogućiti	
<p>ručka - potkova</p> 	<p>ručka - fleksibilna</p> 
<p>naslon za ruku</p> 	<p>remen s čičkom</p> 





Tablica 6 Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti - morfološka matrica

4. Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti	
<p>naslon za cijela leđa</p> 	<p>naslon za lumbalni dio kralježnice</p> 
<p>bez naslona omogućuje se veća sloboda pokreta</p>	

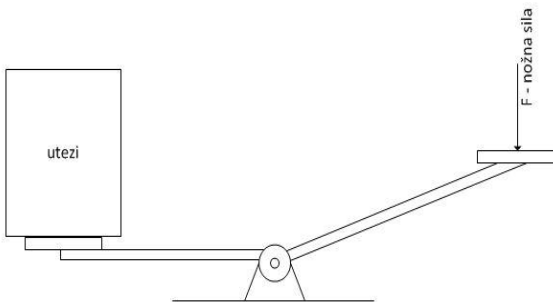
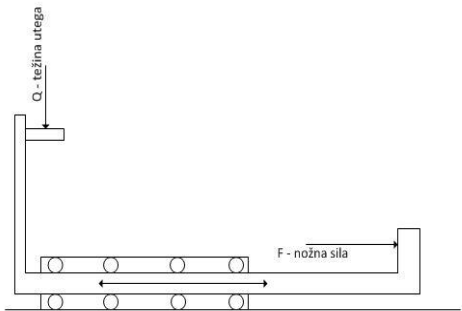
Tablica 7 **Odabir opterećenja omogućiti – morfološka matrica**

5. Odabir opterećenja omogućiti	
<p>stog utega</p> 	<p>elastične gume – različite krutosti</p> 
<p>opruge različite krutosti</p> 	<p>izokinetički dinamometar</p> 
<p>hidraulični cilindri</p> 	<p>magnetna kočnica</p> 


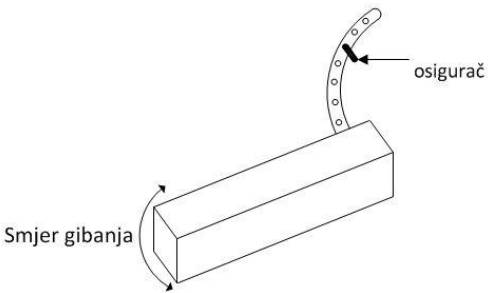
Tablica 8 Opterećenje sa rukom povezati - morfološka matrica

6. Opterećenje sa rukom povezati	
<p>čelično uže</p> 	<p>lanac</p> 
<p>polimerno uže</p> 	<p>sistem poluga</p> 

Tablica 9 Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti - morfološka matrica

7. Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti	
<p>nožna poluga</p> 	<p>osigurači (sidraši)</p> 

Tablica 10 Vođenje pokreta po optimalnoj putanji omogućiti - morfološka matrica

8. Vođenje pokreta po optimalnoj putanji omogućiti	
<p>vodilice</p> 	<p>graničnici</p> 
<p>bez vođenja</p> <p>omogućuje se prirodna stabilizacija prilikom pokreta</p>	

Tablica 11 Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi - morfološka matrica

9. Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi	
fizikalnom preprekom	upozorenjem – naljepnica
odvojiti korisnika od dijelova koji se spajaju	

7.6. Odabir koncepata

Prema morfološkoj matrici odabrana su četiri koncepta naprave za sinergijsko kondicioniranje ramenog pojasa. Koncepti su prikazani na način da se prikazuje funkcija koju trebaju obaviti te rješenje izabrano iz morfološke matrice.

Koncept 1:

- Prihvat korisnika omogućiti – nepodesiva stolica
- Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti – mehanizam sa osiguračem
- Prihvat ruke korisnika omogućiti – naslon za ruku
- Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti – naslon od stolice
- Odabir opterećenja omogućiti – izokinetički dinamometar
- Opterećenje sa rukom povezati – sistem poluga
- Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti – nije potrebno
- Vođenje po optimalnoj putanji omogućiti – graničnici
- Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi – nije potrebno

Koncept 2:

- Prihvat korisnika omogućiti – podesiva stolica
- Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti – princip škara, svornjak s oprugom
- Prihvat ruke korisnika omogućiti – fiksna ručka
- Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti – naslon od stolice
- Odabir opterećenja omogućiti – stog utega
- Opterećenje sa rukom povezati – sistem poluga
- Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti – nožna poluga
- Vođenje po optimalnoj putanji omogućiti – graničnici
- Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi – fizikalna prepreka

Koncept 3:

- Prihvat korisnika omogućiti – naslon za leđa (prsa)
- Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti – mehanizam sa osiguračem
- Prihvat ruke korisnika omogućiti – ručka u obliku potkove
- Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti – naslon
- Odabir opterećenja omogućiti – stog utega
- Opterećenje sa rukom povezati – čelično uže
- Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti – nožna poluga
- Vođenje po optimalnoj putanji omogućiti – bez vođenja
- Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi – odvojiti korisnika, upozorenja

Koncept 4:

- Prihvat korisnika omogućiti – stolica bez naslona sa potporom za noge
- Podešavanje prema antropometriji korisnika omogućiti – priteznik
- Prihvat ruke korisnika omogućiti – remen sa čičkom
- Podupiranje lumbalnog dijela kralježnice omogućiti – nema naslona
- Odabir opterećenja omogućiti – elastične gume različitih krutosti
- Opterećenje sa rukom povezati – polimerno uže
- Prisilno zaustavljanje pokreta omogućiti – nožna poluga
- Vođenje po optimalnoj putanji omogućiti – bez vođenja
- Korisnika od pokretnih dijelova zaštititi – odvojiti korisnika, upozorenja

Sa ova četiri koncepta se ide u inicijalno vrednovanje metodom potencijala kako bi se dobio uvid u mogućnosti daljnje konstrukcijske razrade.

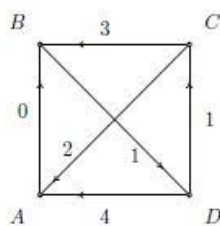
8. Vrednovanje koncepata

8.1. Inicijalni odabir koncepata

Kao metoda vrednovanja koncepata koristi se metoda potencijala. Ovom metodom se omogućuje donošenje odluka temeljeno na intenzitetu preferencija koncepata. Drugim riječima, uspoređuju se rješenja odabranih funkcija koncepata te se ovisno o preferencijama odabire optimalno.

Iz samog imena metode vidljivo je da se može uspostaviti analogija sa energetskim potencijalom. Pretpostavlja se sustav koji teži ravnoteži te zbog toga dolazi do prijelaza potencijala sa jedne točke na drugu. U ovom slučaju točke su spomenuta rješenja odabranih funkcija.

Preferencije se dodjeljuju subjektivno te mogu biti iznosa : 0, 1, 2, 3, 4. Brojčanim vrijednostima se mogu dodijeliti i opisne karakteristike redom: jednaka, slaba, umjerena, izrazita i apsolutna preferencija. Primjer zadavanja preferencija dan je na slici 30.



Slika 30 Dodjeljivanje preferencija

Ukupna preferencija, ili potencijal, svake točke na slici 30 se definira prema izrazu (1):

$$X_i = \frac{1}{n} \left[\sum_i y_{ul} - \sum_i y_{iz} \right] \quad (1)$$

U izrazu (1) imamo da:

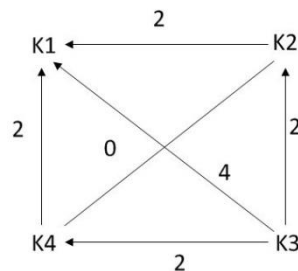
- indeks i označava rješenje funkcije koncepta i
- n predstavlja broj čvorova, to jest broj varijanti
- $\sum_i y_{iz}$ predstavlja sumu preferencija koje i -ta varijanta predaje ostalima
- $\sum_i y_{ul}$ predstavlja sumu preferencija koje i -ta varijanta prima od ostalih

Prema izrazu (1) prilikom računanja ukupnog potencijala dobiva se da najveći potencijal ima ona varijanta čija ukupna preferencija ima najveći negativni iznos. Stoga je potrebno u izrazu (1) zamijeniti mjesta suma, te se onda dobiva da najveći potencijal ima ona varijanta koja ima najveći pozitivni iznos.

Kriteriji inicijalnog vrednovanja su:

- a) Način prihvata korisnika
- b) Mogućnost prilagođavanja antropometriji korisnika
- c) Mogućnost postizanja raznih pokreta
- d) Mogućnost odabira opterećenja
- e) Način prihvata ruke
- f) Način prijenosa opterećenja do korisnika
- g) Jednostavnost izvedbe naprave
- h) Konačne dimenzije naprave
- i) Intuitivnost korištenja naprave
- j) Izgled naprave
- k) Mogućnost ozljede na pokretnim dijelovima – sigurnost korisnika
- l) Održavanje naprave
- m) Položaj korisnika prilikom upotrebe naprave

Vrednovanje prema kriteriju načina prihvata korisnika prikazano je na slici 31.



Slika 31 Vrednovanje prema načinu prihvata korisnika

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

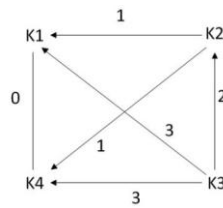
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 8) = -2$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2 - 2) = 0$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(8 - 0) = 2$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(2 - 2) = 0$$

Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti prilagođavanja antropometriji korisnika je prikazano na slici 32.



Slika 32 Vrednovanje prema mogućnosti prilagođavanja antropometriji korisnika

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

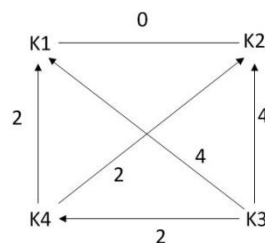
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 1) = -0.25$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2 - 2) = 0$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(8 - 0) = 2$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(0 - 4) = -1$$

Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti postizanja raznih pokreta prikazano je na slici 33.



Slika 33 Vrednovanje prema mogućnosti postizanja raznih pokreta

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

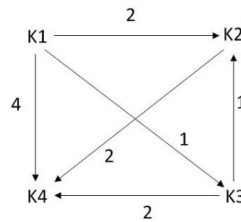
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 8) = -2$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(0 - 6) = -1.5$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(9 - 0) = 2.5$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(6 - 2) = 1$$

Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti odabira opterećenja prikazano je na slici 34.



Slika 34 Vrednovanje prema mogućnosti odabira opterećenja

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

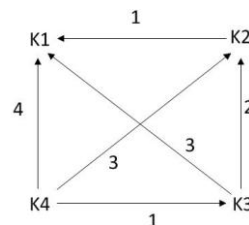
$$X_1 = \frac{1}{4}(7 - 0) = 1.75$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2 - 3) = -0.25$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(4 - 1) = 0.75$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(0 - 9) = -2.25$$

Vrednovanje prema kriteriju načina prihvata ruke prikazan je na slici 35.



Slika 35 Vrednovanje prema načinu prihvata ruke

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

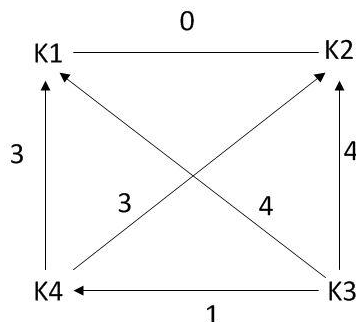
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 8) = -2$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(1 - 5) = -1$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(5 - 1) = 1$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(8 - 0) = 2$$

Vrednovanje prema kriteriju načina prijenosa opterećenja do korisnika je prikazano na slici 36.



Slika 36 Vrednovanje prema načinu prijenosa opterećenja

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

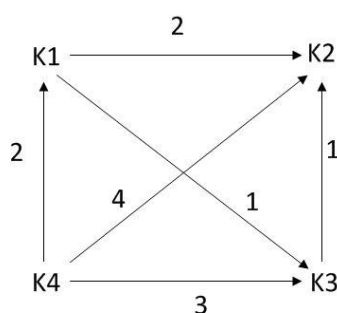
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 7) = -1.75$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(0 - 7) = -1.75$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(9 - 0) = 2.25$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(6 - 1) = 1.75$$

Vrednovanje prema kriteriju jednostavnosti izvedbe naprave prikazano je na slici 37.



Slika 37 Vrednovanje prema jednostavnosti izvedbe

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

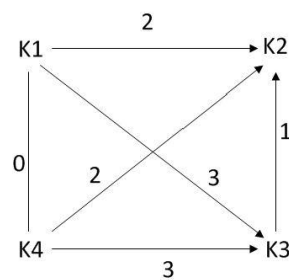
$$X_1 = \frac{1}{4}(3 - 2) = 0.25$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(0 - 7) = -1.75$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(1 - 4) = -0.75$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(9 - 0) = 2.25$$

Vrednovanje prema kriteriju konačnih dimenzija naprave prikazano je na slici 38.



Slika 38 Vrednovanje prema konačnim dimenzijama naprave

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

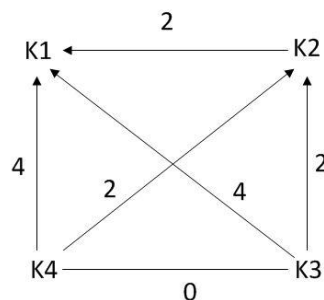
$$X_1 = \frac{1}{4}(5 - 0) = 1.25$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(0 - 5) = -1.25$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(1 - 6) = -1.25$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(5 - 0) = 1.25$$

Vrednovanje prema kriteriju intuitivnosti korištenja naprave prikazano je na slici 39.



Slika 39 Vrednovanje prema intuitivnosti korištenja naprave

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

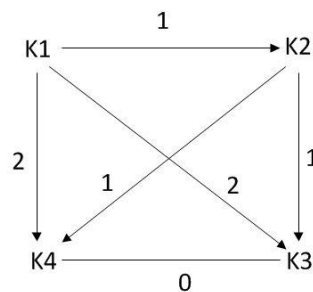
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 10) = -2.5$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(4 - 2) = 0.5$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(6 - 0) = 1.5$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(6 - 0) = 1.5$$

Vrednovanje prema kriteriju izgleda naprave je prikazano na slici 40.



Slika 40 Vrednovanje prema izgledu naprave

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

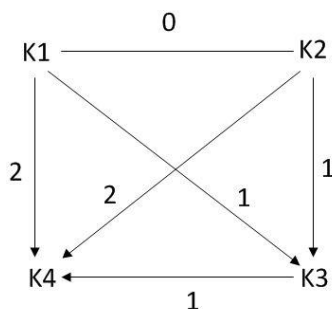
$$X_1 = \frac{1}{4}(5 - 0) = 1.25$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(2 - 1) = 0.25$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(0 - 3) = -0.75$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(6 - 0) = -0.75$$

Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti ozljede na pokretnim dijelovima je prikazano na slici 41.



Slika 41 Vrednovanje prema kriteriju mogućnosti ozljede na pokretnim dijelovima

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

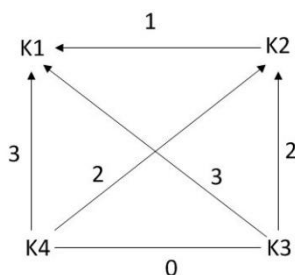
$$X_1 = \frac{1}{4}(3 - 0) = 0.75$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(3 - 0) = 0.75$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(1 - 2) = -0.25$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(5 - 0) = -1.25$$

Vrednovanje prema kriteriju održavanja naprave prikazano je na slici 42.



Slika 42 Vrednovanje prema kriteriju održavanja naprave

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

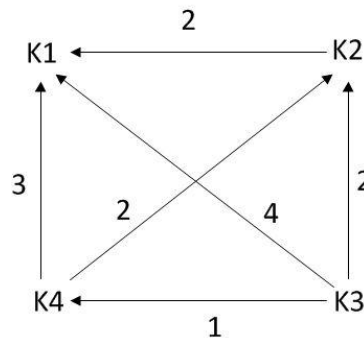
$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 7) = -1.75$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(1 - 4) = -0.75$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(5 - 0) = 1.25$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(5 - 0) = 1.25$$

Vrednovanje prema kriteriju položaja korisnika prilikom upotrebe naprave je prikazano na slici 43.



Slika 43 Vrednovanje prema kriteriju položaja korisnika prilikom upotrebe naprave

Prema dodijeljenim preferencijama i izrazu (1) imamo da su potencijali koncepata:

$$X_1 = \frac{1}{4}(0 - 7) = -1.75$$

$$X_2 = \frac{1}{4}(4 - 2) = 1.25$$

$$X_3 = \frac{1}{4}(7 - 0) = 1.75$$

$$X_4 = \frac{1}{4}(5 - 1) = 1$$

Zbrajanjem potencijala, dobivenih za svaki koncept prema navedenim kriterijima dobiva se ukupni potencijal svakog koncepta. Tako imamo da su ukupni potencijali:

$$X_1 = -5.75$$

$$X_2 = -2.5$$

$$X_3 = 12$$

$$X_4 = 8$$

Kao što je ranije rečeno, vrednovanje se provodi tako da se svakom konceptu za određeni kriterij dodjeljuje iznos potencijala. Ovisno o izvedbama određenih funkcija u konceptima, uspostavljaju se tokovi potencijala među njima.

Preferencije, ili potencijali, se dodjeljuju subjektivno što može dovesti do utjecaja osobnih stavova na ishod vrednovanja. Utjecaj subjektivnosti se može umanjiti dodavanjem težinskih faktora za svaki kriterij. Težinski faktori se množe sa potencijalom koncepta za svaki definirani kriterij. U ovom slučaju vrednovanja razlika između konceptata je relativno velika te uvođenje težinskih faktora ne bi promijenilo ishod vrednovanja.

Primjer vrednovanja i dodjeljivanja potencijala se može pokazati na primjeru kriterija održavanja naprave.

Najjednostavnije održavanje naprave je onda kada nema nikakvih elektroničkih dijelova i kada se može jednostavno pristupiti svim dijelovima. Prema slici 42 vide se dodijeljene preferencije, te se vidi da rješenje koncepta 3 ima preferenciju razine u odnosu na koncept 1. To znači da izvedba koncepta 3 ima izrazitu preferenciju nad izvedbom koncepta 1.

Izvedba koncepta 3 u usporedbi sa konceptom 2, prema spomenutom kriteriju, ima preferenciju razine 2. To znači da izvedba koncepta 3 ima umjerenu preferenciju od izvedbe koncepta 2. Ukoliko izvedba koncepta 3 ima preferenciju razine 3 nad konceptom 1, te preferenciju razine 2 nad konceptom 2, logično je zaključiti da koncept 2 ima preferenciju razine 1 nad konceptom 1. Tako se održava dosljednost toka potencijala, te se djelomično umanjuje utjecaj subjektivnosti.

Opisani postupak se provodi i na svim ostalim, ranije navedenim, kriterijima vrednovanja konceptata.

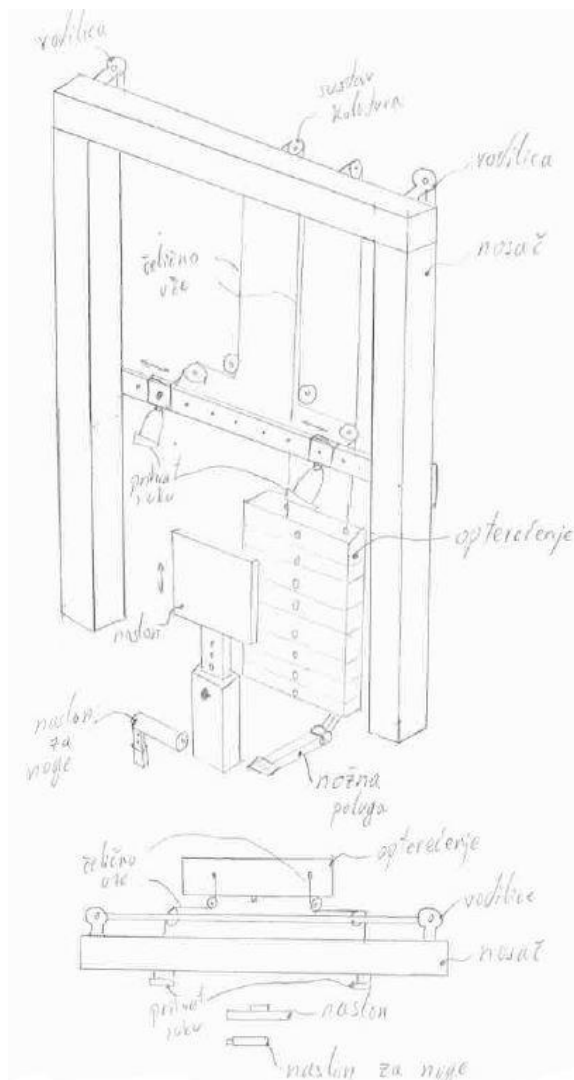
Također, takvim vrednovanjem vidljivo je da odabrani koncept nije u svakom kriteriju bolji od ostalih. To bi trebalo uzeti u obzir prilikom konstrukcijske razrade koncepta. Zbog toga bi trebalo razmotriti promjenu nezadovoljavajućih rješenja odabranog koncepta sa zadovoljavajućim rješenjima ostalih konceptata. Naravno, ukoliko je to fizikalno moguće.

Prema inicijalnom vrednovanju odabranih konceptata vidimo da koncepti 1 i 2 imaju negativan potencijal, što znači da njih izbacujemo iz daljnjih razmatranja. U daljnja razmatranja ulaze koncepti 3 i 4, koji imaju najveće potencijale. Specifično za ovaj slučaj imamo da su to dva koncepta sa pozitivnim potencijalom. Koncepti 3 i 4 će se konceptualno detaljnije razraditi i vrednovati na ergonomskej razini.

8.2. Konačni odabir koncepta za razradu

Koncept 3

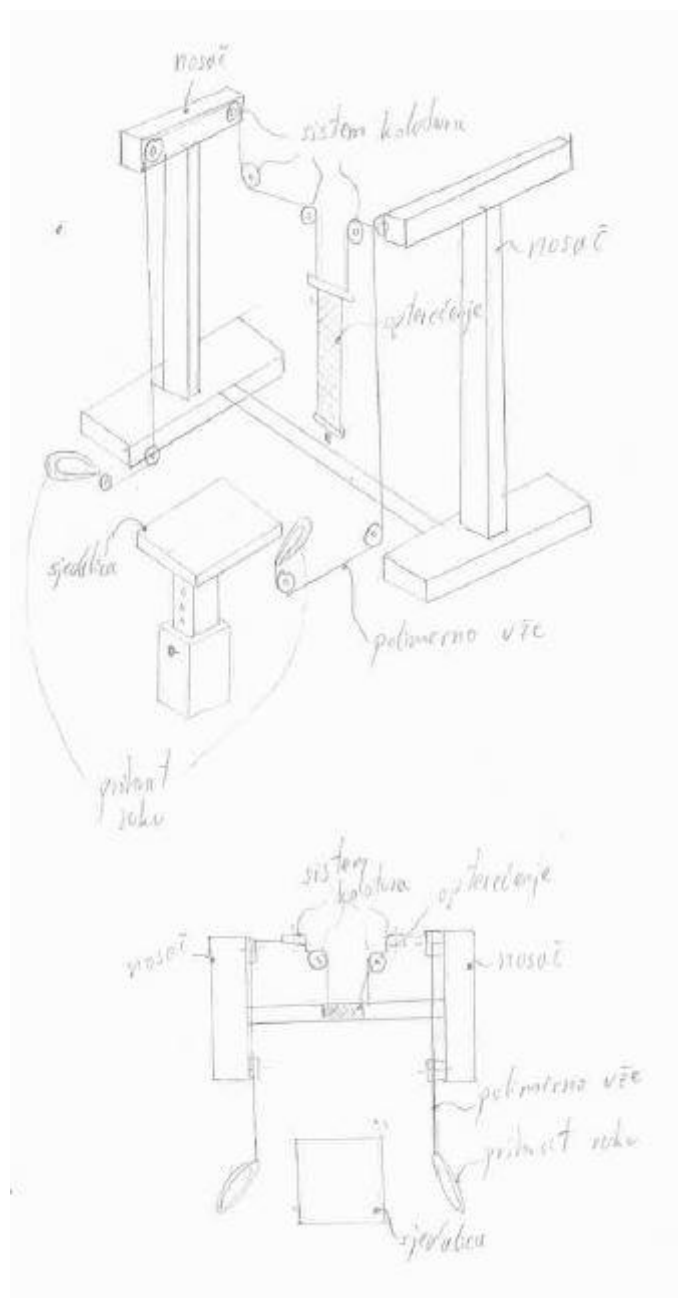
Kao što je već rečeno, prijenos opterećenja kod koncepta 3 se ostvaruje pomoću čeličnog užeta. Time se omogućuje sloboda pokreta kako bi se ostvarila veća sinergija mišića ramenog pojasa, ali i mišića trupa. Također, podešavanje antropometriji je omogućeno na više načina. Prvi način je podešavanje visine naslona ovisno o visini korisnika. Drugi način podešavanja antropometriji je određivanje na kojoj će se visini prihvat ruku korisnika nalaziti. Na kraju, imamo treći način podešavanja antropometriji korisnika na način da se određuje pozicija prihvata ruku korisnika po širini, odnosno prema rasponu ruku korisnika. Slika 44 daje prikaz skice koncepta 3.



Slika 44 Koncept 3

Koncept 4

Kod koncepta 4 prijenos opterećenja se vrši pomoću polimernog užeta dok je samo opterećenje izvedeno pomoću elastične trake. Prilagođavanje antropometriji korisnika je izvedeno podešavanjem sjedalice po visini, što znači da nema prilagođavanja širini raspona ruku. Polimernim užetom se omogućuje ostvarivanje slobode pokreta i sinergije više skupina mišića, kao i kod koncepta 3. Slika 45 daje prikaz skice koncepta 4.

**Slika 45 Koncept 4**

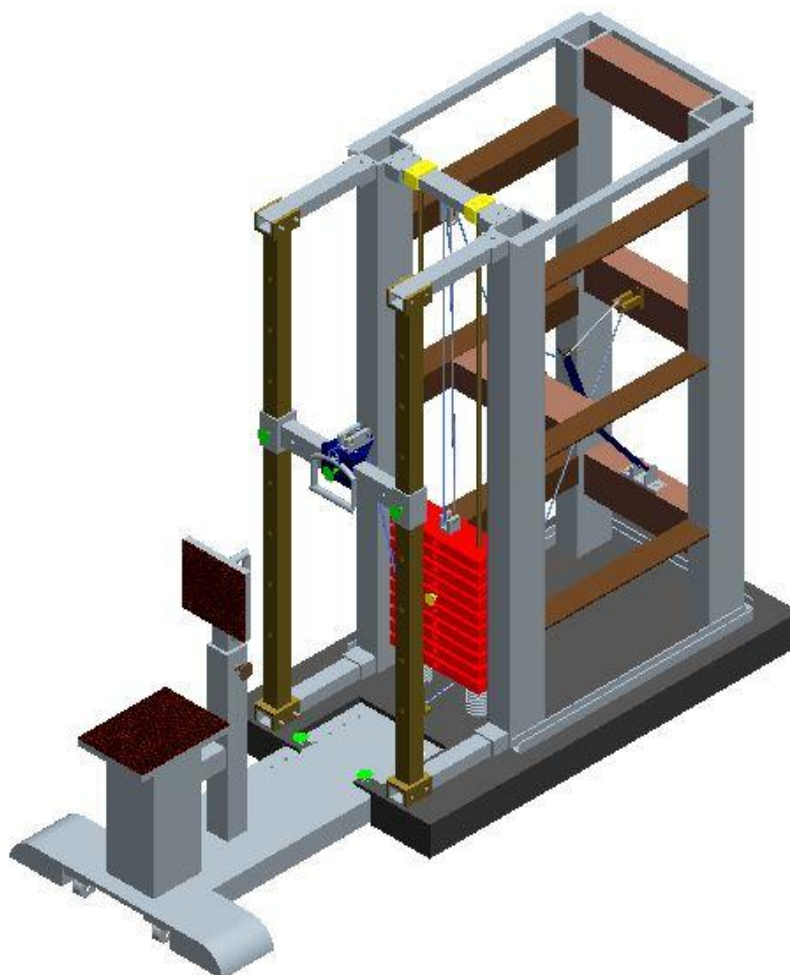
Uspoređujući koncepte 3 i 4, vidljivo je da su oba koncepta prihvatljiva za daljnju razradu. Prema metodi potencijala, koncept 3 ima veći potencijal od koncepta 4, ali to ipak ne znači da je koncept 3 u svemu bolji. Na primjer, prema kriteriju vrednovanja prema konačnim dimenzijama naprave, vidi se da koncept 4 ima veći potencijal od koncepta 3. Tako će se prilikom daljnje konstrukcijske razrade uzeti u obzir i neki od nedostataka odabranog koncepta, te će ih se zamijeniti sa prihvatljivijim varijantama. Prihvatljivije varijante se mogu nalaziti u nekim od navedenih koncepata.

Skica koncepta 3 je prikazana na slici 44, te će prilikom konstrukcijske razrade biti izmijenjena.

U okviru konstrukcijske razrade uzet će se u obzir tehnološki izrade i sastavljanja naprave, kao i pojednostavljenje korištenja.

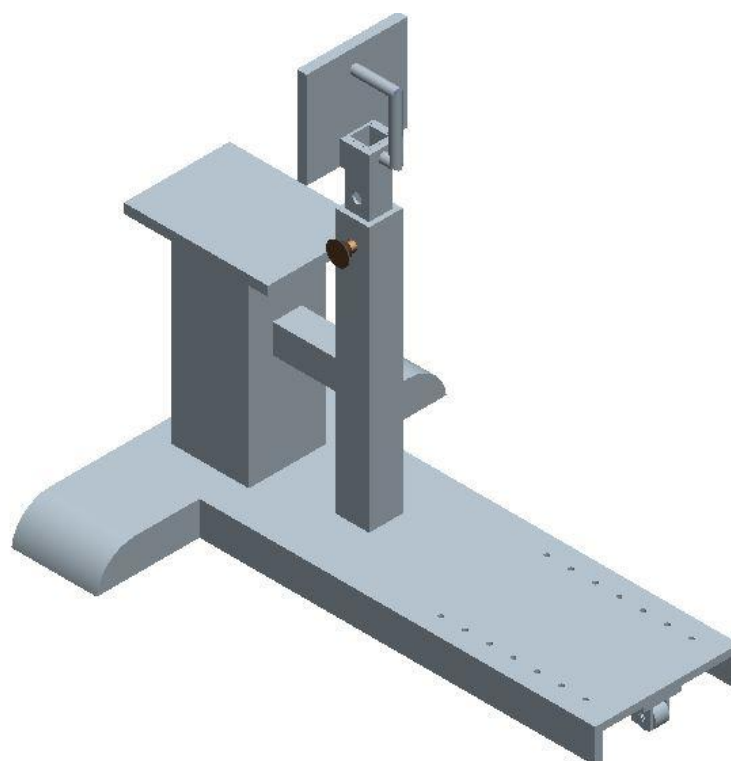
9. Naprava za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba

Naprava za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba dobivena konstrukcijskom razradom odabranog optimalnog koncepta je prikazana na slici 46.



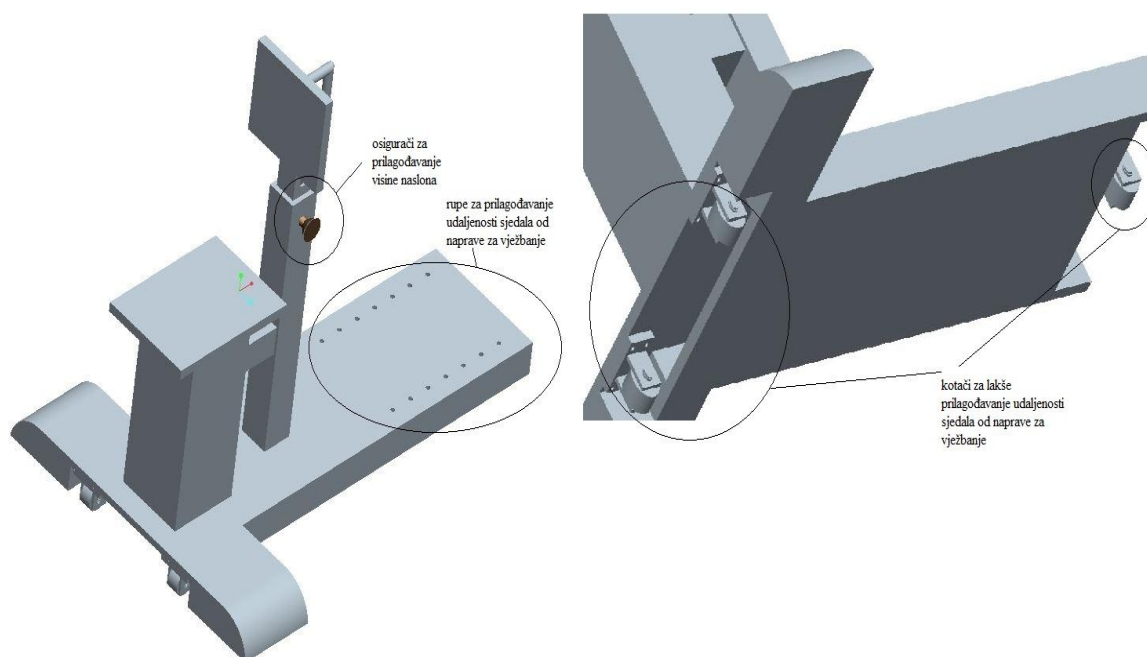
Slika 46 Naprava za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba

Prilagođavanje antropometriji korisnika je omogućeno pomoću sjedala sa naslonom prilagodljivim po visini. Osim prilagođavanja visine naslona na sjedalu je omogućeno i približavanje ili odaljšavanje korisnika od naprave. Ovi načini prilagođavanja antropometriji korisnika su omogućeni pomoću osigurača. Ukoliko korisnik želi izvršiti promjenu visine naslona ili udaljenosti od naprave, potrebno je samo izvući osigurače, pozicionirati sjedalo te zatim vratiti osigurače. Osigurači onemogućuju neželjeno pomicanje sjedala prilikom izvođenja vježbe. Radi lakšeg približavanja ili odaljšavanja sjedala, na donjoj strani sjedala se nalaze kotači. Slika 47 daje prikaz sjedala naprave.



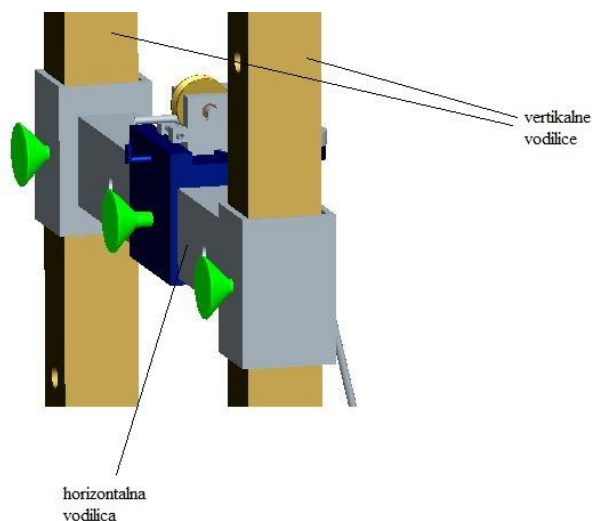
Slika 47 Sjedalo naprave za vježbanje

Slika 48 daje prikaz detalja sjedala za prilagođavanje antropometriji korisnika.



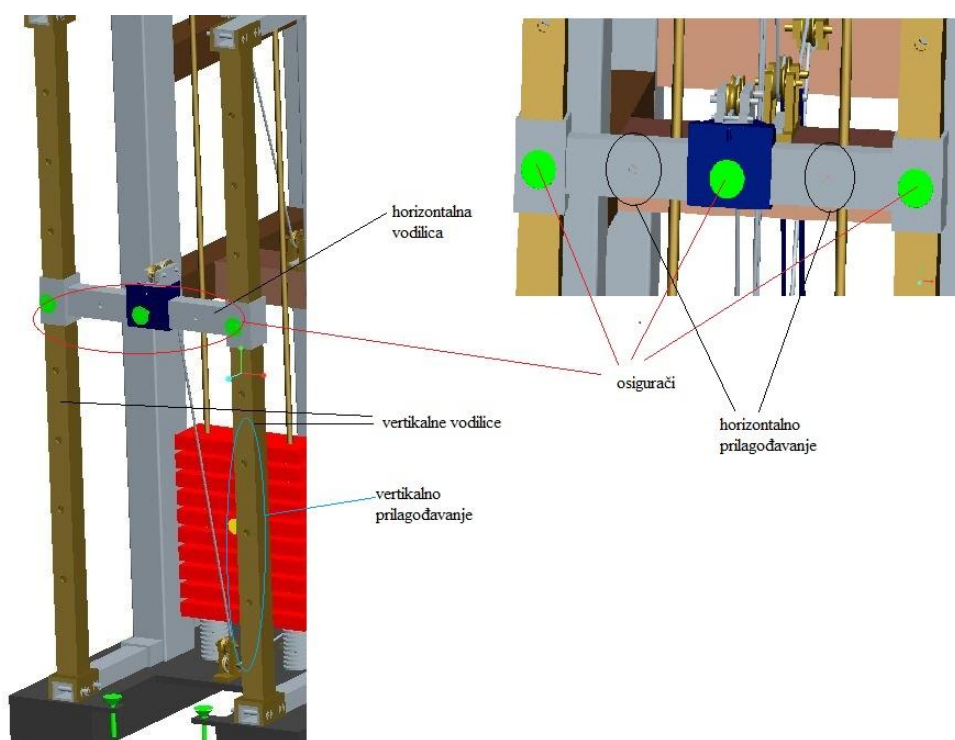
Slika 48 Prilagođavanje sjedala antropometriji korisnika

Prilagođavanje antropometriji je, osim na sjedalu, i na samoj napravi. Podešavanje na napravi se odnosi na određivanje početnog položaja pokreta. To je omogućeno pomoću poliranih kvadratnih vodilica. Slika 49 daje prikaz vodilica za određivanje početnog položaja ruke.



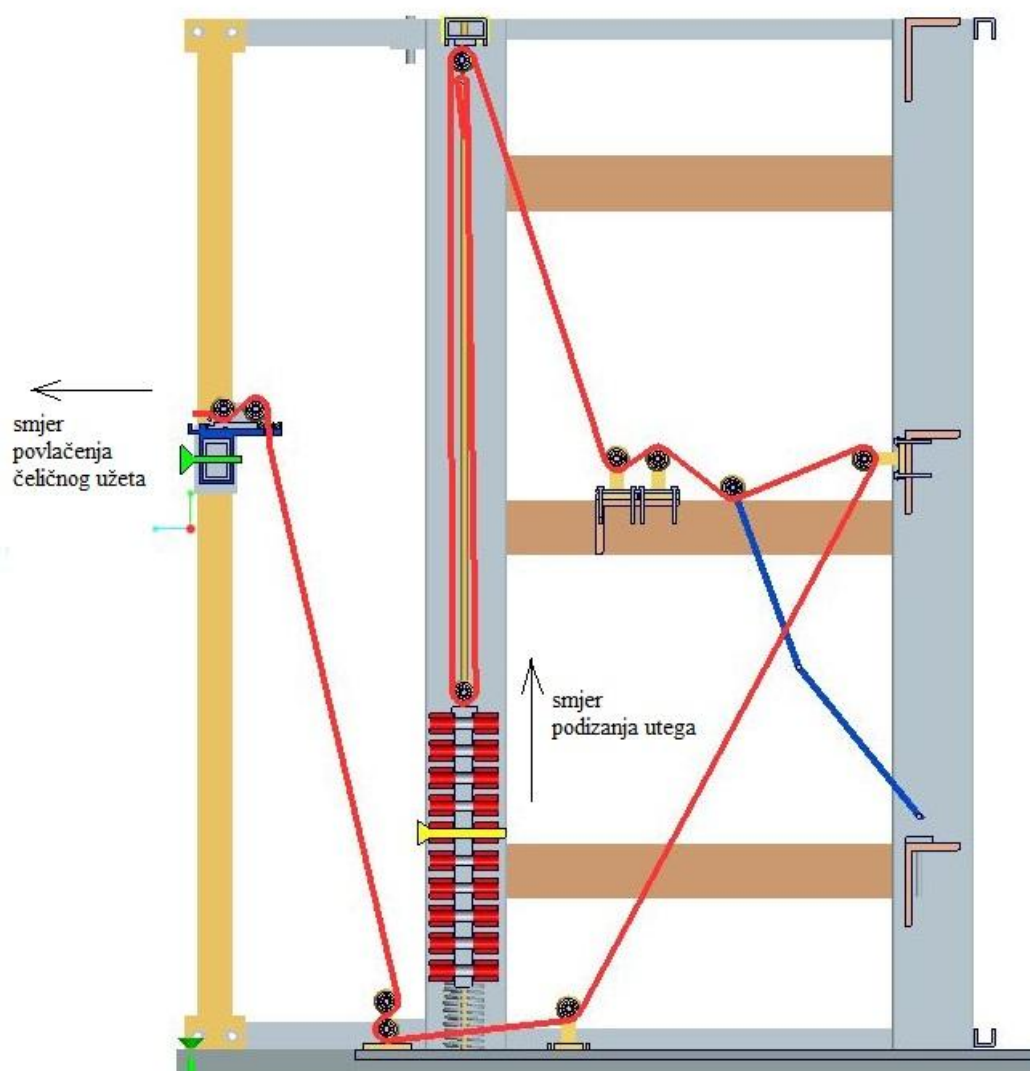
Slika 49 Određivanje početnog položaja ruke

Prilagođavanje je omogućeno također sa osiguračima kako bi pozicioniranje bilo odgovarajuće za svakog korisnika. Slika 50 daje pojašnjeni prikaz određivanja početnog položaja ruke.



Slika 50 Podešavanje početnog položaja naprave

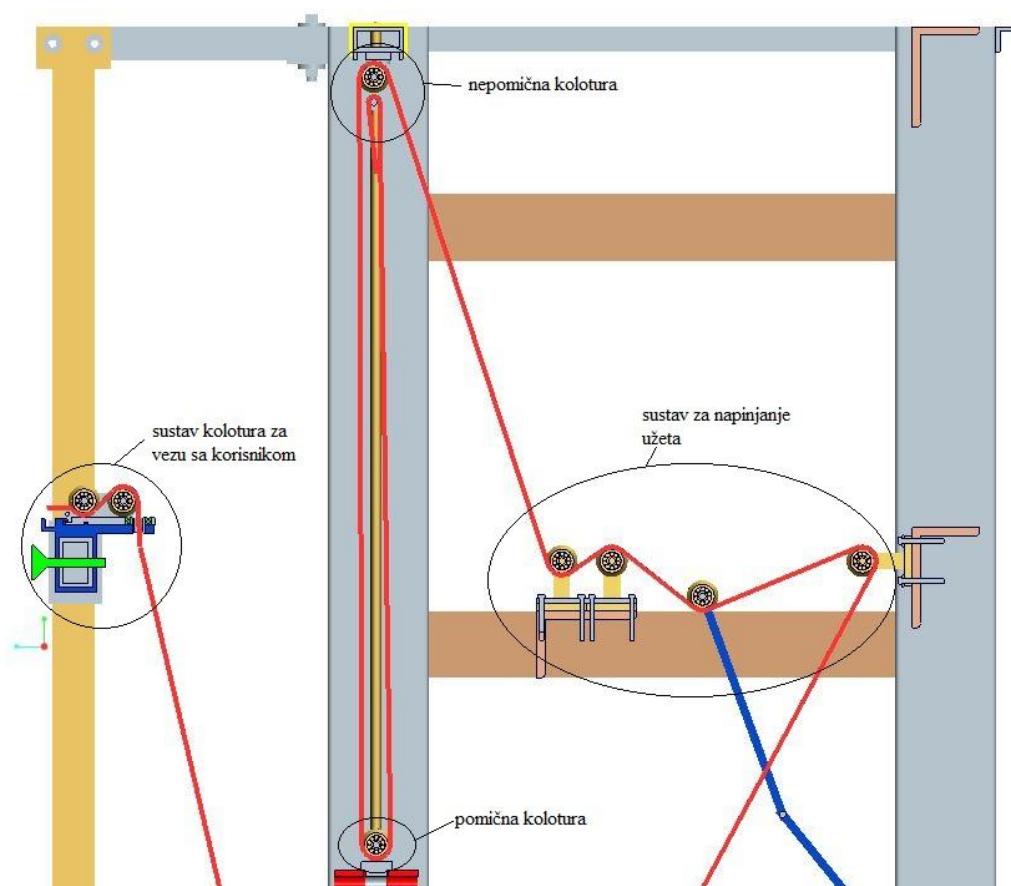
Prijenos opterećenja je ostvaren preko sustava kolotura i čeličnog užeta, dok je kao opterećenje odabran stog utega. Sustav prijenosa opterećenja je prikazan na slici 51.



Slika 51 Sustav prijenosa opterećenja

Kao što se vidi na slici 51, povezanost stoga utega i čeličnog užeta ostvarena je pomoću je nepomične i jedne pomične koloture. Time je ostvaren učinak da put potreban za podizanje utega duplo manji od onog puta koji prelazi ručka, koja se nalazi u korisnikovoj ruci.

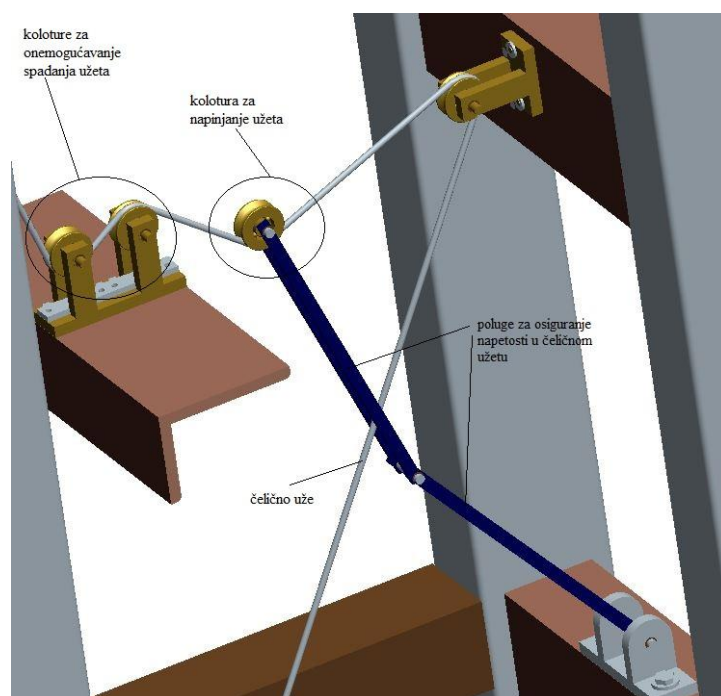
Posljedica takve izvedbe veze opterećenja i užeta je ta da je izlazna sila duplo manja od odabranog opterećenja. Zbog toga, da bi se omogućilo stvarno željeno opterećenje potrebno je staviti duplo teži stog utega. Slika 52 daje prikaz sustava kolotura.



Slika 52 Sustav kolotura

Posebno su zanimljivi sustavi kolotura za napinjanje užeta i sustav kolotura za vezu sa korisnikom.

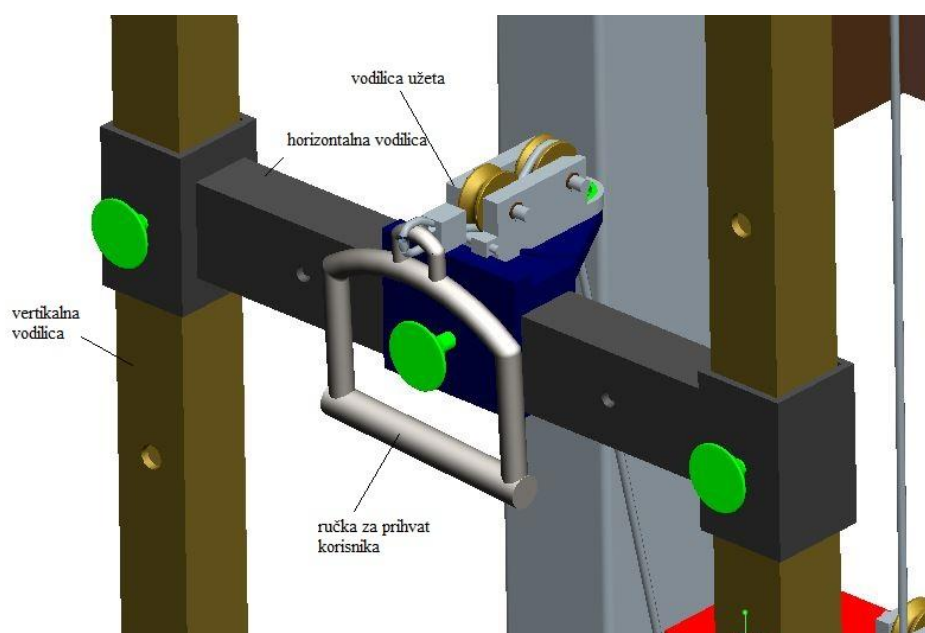
Sustav kolotura za napinjanje užeta je prikazan na slici 53.



Slika 53 Sustav kolotura za napinjanje čeličnog užeta

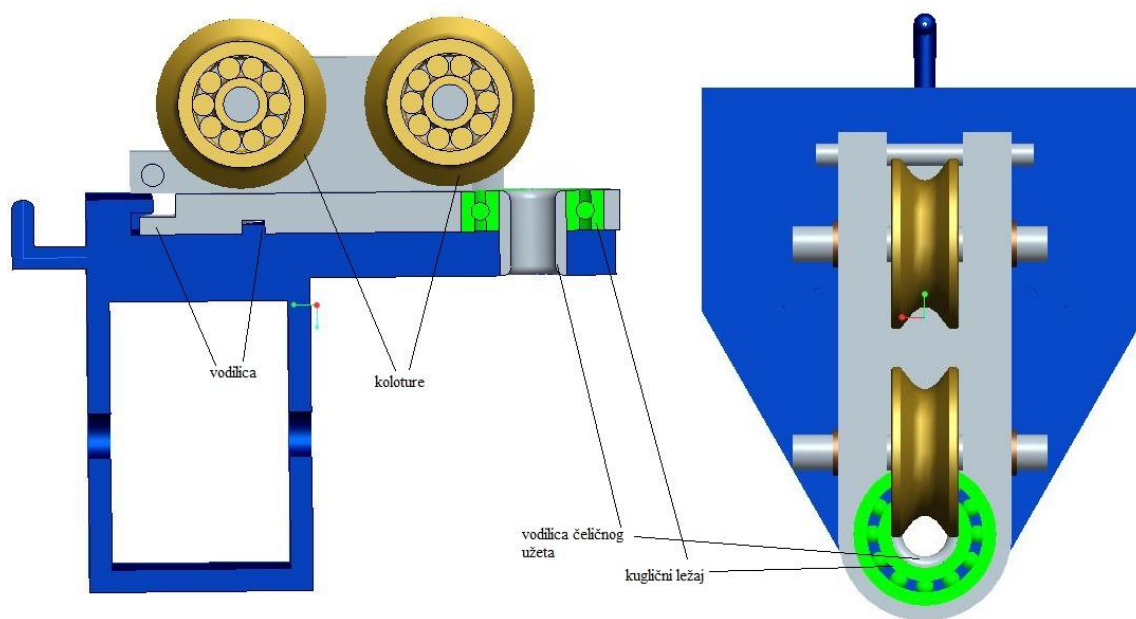
Kolotura za napinjanje užeta se nalazi na polugama koje joj omogućavaju pomicanje po čeličnom užetu, a da pri tome održava konstantnu napetost u užetu. Takvim sustavom se ostvaruje učinak da opterećenje djeluje kontinuirano od početnog položaja pokreta pa sve do konačnog položaja pokreta. Prednost je u tome što nema praznog hoda, bez opterećenja, prilikom izvođenja vježbe te ne dolazi do trzaja na rameni zglobovima.

Sustav kolotura za vezu sa korisnikom je prikazan na slici 54.



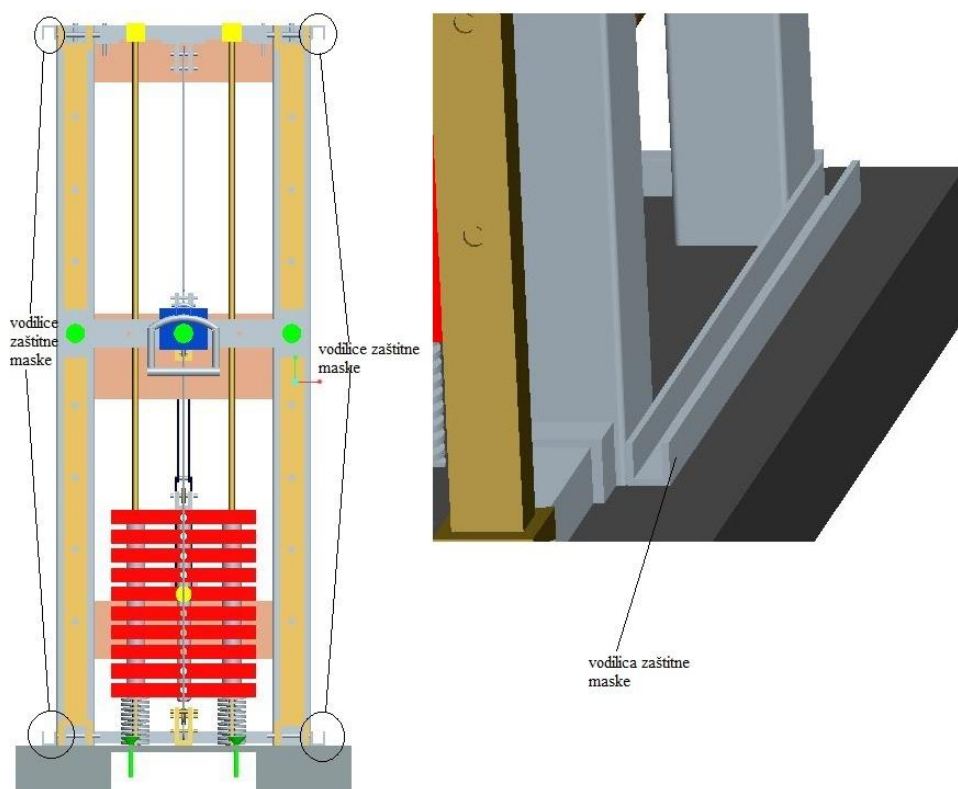
Slika 54 Sustav kolotura za vezu sa korisnikom

Ovaj sustav kolotura se sastoji od dva dijela. Prvi dio je označen plavom bojom na slici 55, te se on odnosi na horizontalno podešavanje početnog položaja ruke. Drugi dio, nama bitni, se nalazi na njemu i sastoji se od vodilice, kugličnog ležaja i dvije koloture. Koloture i kuglični ležaj su pozicionirani tako da je središte njihove rotacije u sredini čeličnog užeta koje dolazi od ispod. Time se omogućuje neometano pomicanje užeta u stranu, čime se smanjuje mogućnost zaglavlivanja i oštećivanja užeta uslijed trenja. Detaljni prikaz sustava kolotura za vezu sa korisnikom je prikazan na slici 55.



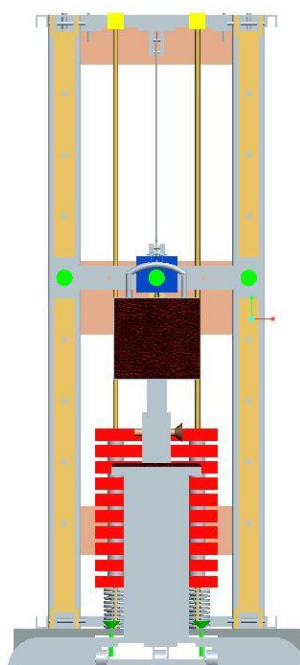
Slika 55 Sustav kolotura za vezu sa korisnikom

Kao ukrute nosive konstrukcije naprave može se koristiti i zaštitna maska naprave. Zaštitna maska se postavlja u vodilice koje povezuju sve nosive profile i time povećavaju krutosti naprave kao sustava. Razlog njihove ugradnje je u tome da se onemoguće neželjeni pokreti naprave u gornjem dijelu, zbog toga što može doći do oštećenja naprave ali i nesigurnosti korisnika. Vodilice zaštitne maske, koje služe kao ukrute su prikazane na slici 56.



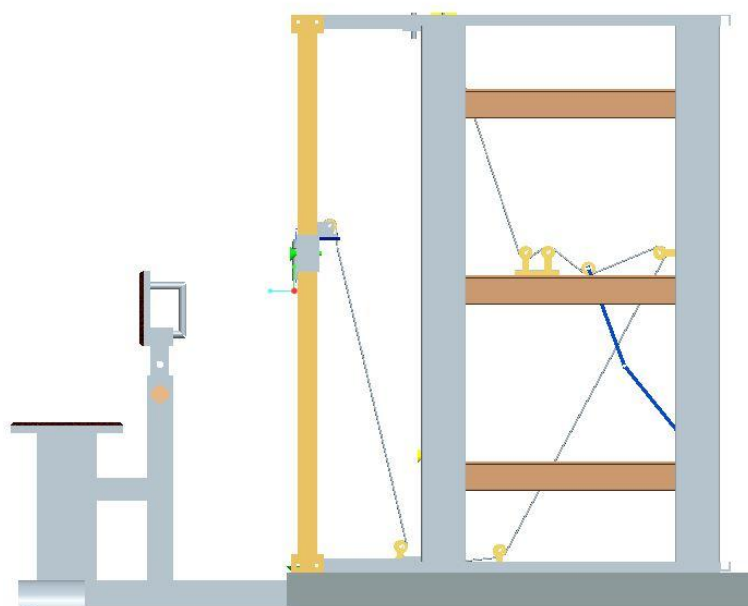
Slika 56 Vodilice zaštitne maske

Slika 57 daje prikaz naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba od naprijed.



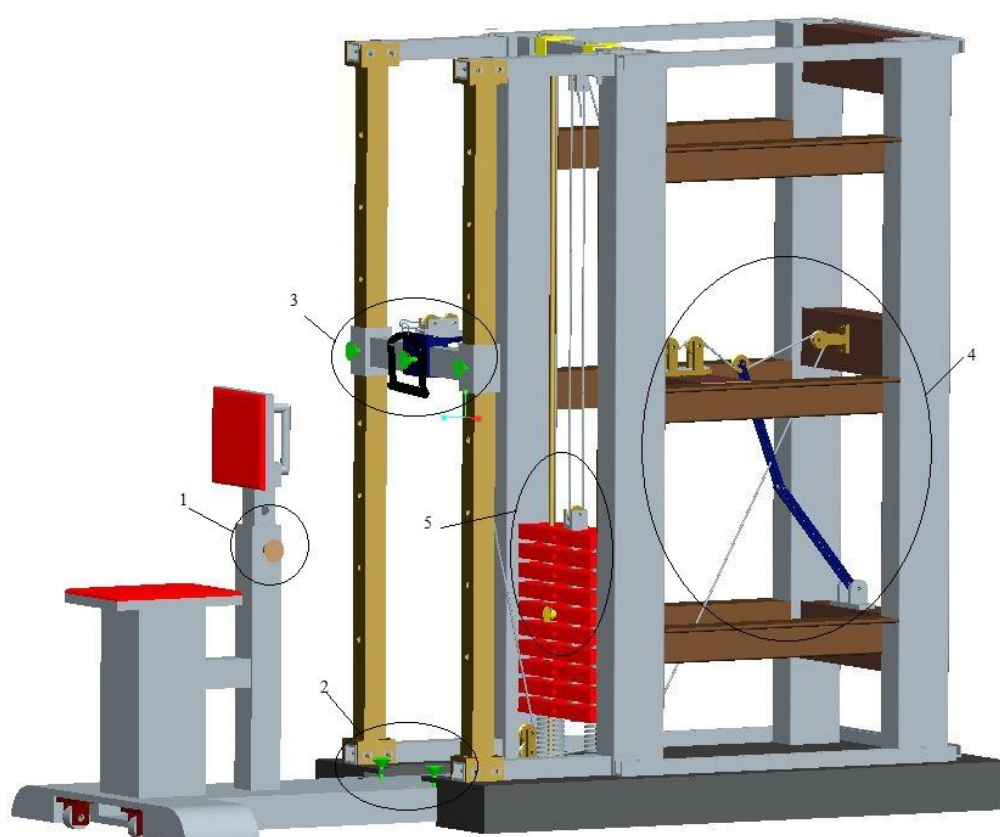
Slika 57 Prednji pogled naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba

Slika 58 daje prikaz bočnog pogleda naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba.



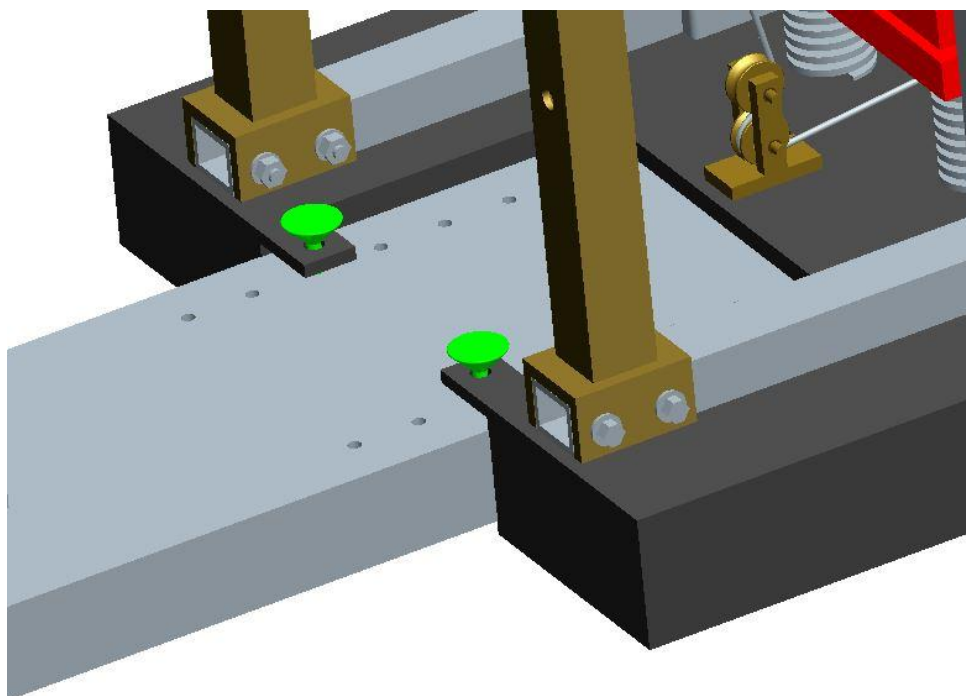
Slika 58 Bočni pogled naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba

Slika 59 daje izometrijski prikaz naprave za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba.



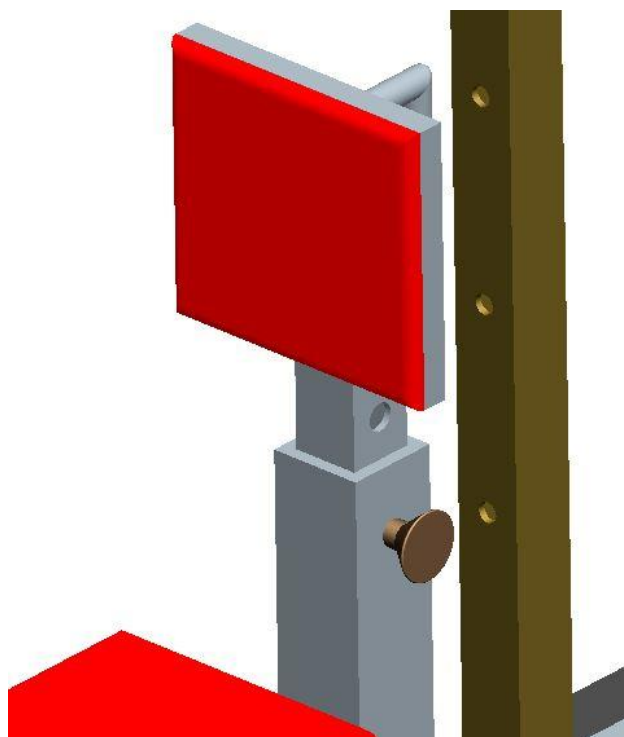
Slika 59 Izometrijski pogled na napravi za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zgloba

Na slici 59 su brojevima označeni bitni detalji naprave, koji omogućuju njezino pravilno korištenje. Detalj označen brojem 1 je mogućnost prilagođavanja visine naslona, koja je izvedena pomoću osigurača i utora. Detalj pod brojem 2 je mogućnost prilagođavanja udaljenosti korisnika od naprave. Također se sastoji od sustava sa osiguračem i utorima. Detalj 3 je sustav za prilagođavanje početnog položaja ruke. Prilagođavanje je omogućeno po visini i širini, ovisno o tome koja ruka se koristi prilikom vježbanja. Ono je izvedeno također sa osiguračima i utorima, te sa pokretnom vodicom čeličnog užeta. Vodilica čeličnog užeta je prikazana na slici 55. Detalj 4 je sustav za napinjanje užeta. Mehanizam je poprilično jednostavan jer djeluje na principu natezanja težinom sustava. Detalj 5 je izbor opterećenja i veza opterećenja sa čeličnim užetom. Izbor opterećenja je ostvaren pomoću središnjeg nosača utega i osigurača kojim se bira razina opterećenja. Slika 60 daje prikaz detalja 2, to jest mogućnosti prilagođavanja udaljenosti korisnika od naprave.



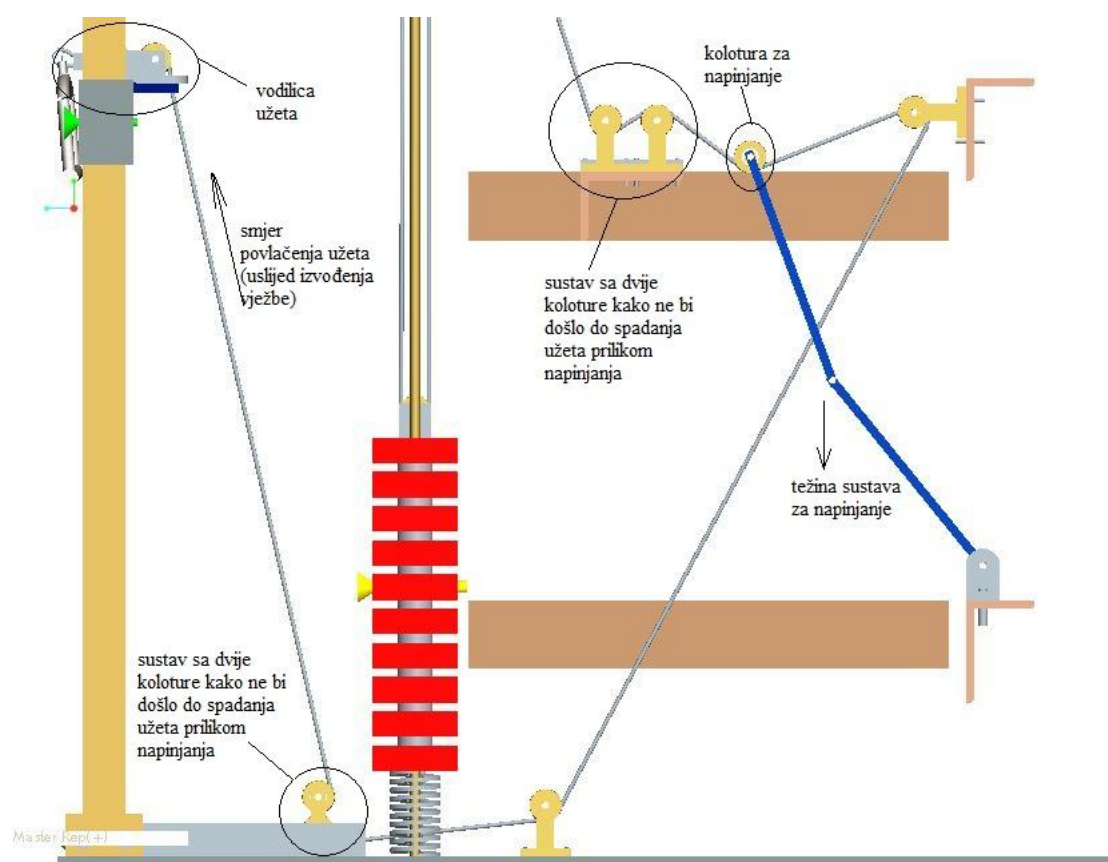
Slika 60 Mogućnost prilagođavanja udaljenosti od naprave

Slika 61 daje prikaz detalja 1, prilagođavanje visine naslona.



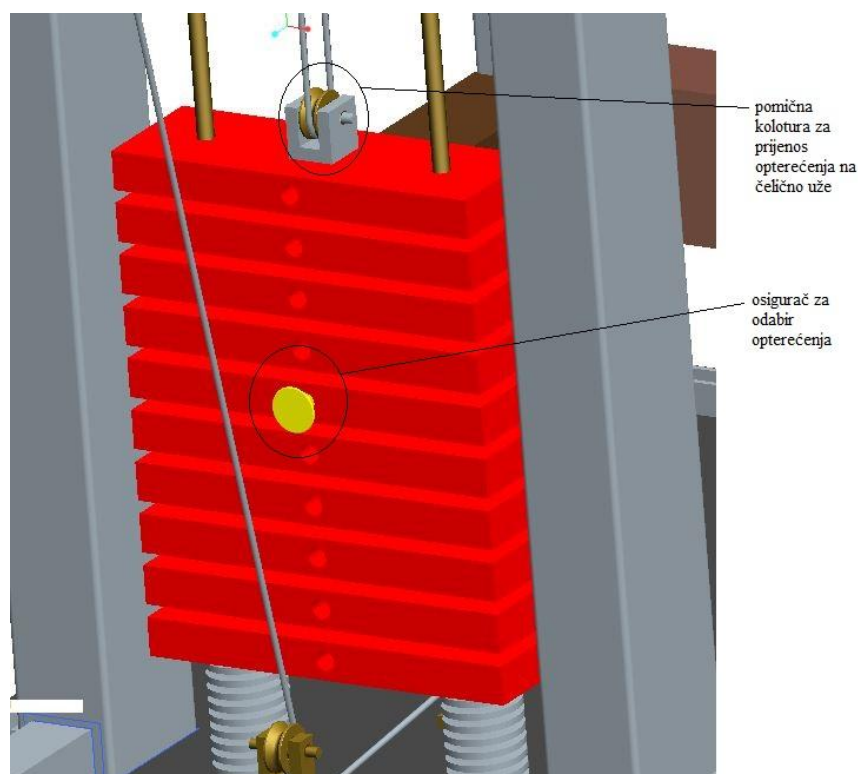
Slika 61 Mogućnost prilagođavanja naslona po visini

Slika 62 daje prikaz detalja 4, sustava za napinjanje užeta.



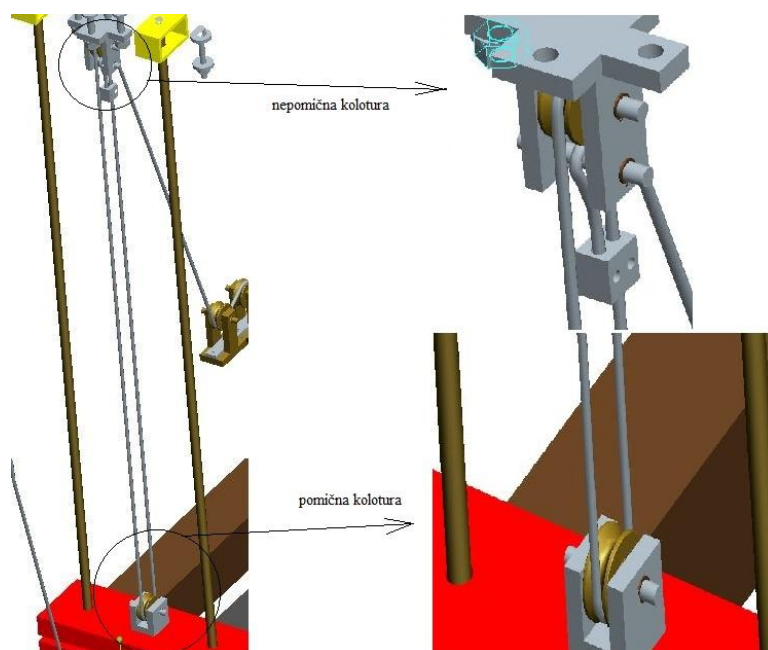
Slika 62 Napinjanje užeta

Slika 63 daje prikaz detalja 5, izbor opterećenja i njegovu vezu sa čeličnim užetom.



Slika 63 Izbor opterećenja

Način smanjenja potrebnog hoda utega je prikazan na slici 64.



Slika 64 Smanjenje potrebnog hoda utega

10. Zaključak

Rameni zglob je, uz koljeno, najsloženiji zglob u ljudskome tijelu. Sastoji se od tri manja zglobova i velikog broja mišića. Poznavanjem biomehanike ramenog zglobova i mišićne aktivnosti, određen je pokret za sinergijsko vježbanje mišića ramenog zglobova.

Pokret za sinergijsko vježbanje je podijeljen u četiri faze. Prva faza je podizanje ruke do visine ramena. U ovoj fazi dolazi do aktivacije mišićne skupine deltoida, koji stvaraju najveću silu podizanja. Druga faza je podizanje ruke od visine ramena do iznad glave. Tokom ove faze dolazi do aktivacije mišićne skupine supraspinatus. Treća faza je rotacija ruke do položaja iza glave. Pri tome dolazi do aktivacije mišićnih skupina rotatorske manšete. Posljednja faza je vraćanje ruke u početni položaj.

Funkcijskom dekompozicijom naprave i morfološkom matricom su dobiveni koncepti mogućih rješenja naprave. Dobiveni koncepti su vrednovani metodom potencijala, te je onaj sa najvećim potencijalom odabran za daljnju razradu.

Naprava se sastoji od pomičnog sjedala i nepomičnog dijela sa opterećenjem. Sjedalo je konstruirano tako da omogućuje pomicanje prema ili od naprave, čime se omogućuje prilagođavanje antropometriji korisnika. Osim toga, na sjedalu postoji i mogućnost podešavanja visine naslona za korisnika. Nepomični dio naprave ima mogućnost podešavanja položaja ručke, to jest, podešavanja početnog položaja ruke. Podešavanje je omogućeno pomicanjem ručke po vertikalnim i horizontalnim vodilicama. Unutar nepomičnog dijela nalazi se i sustav za napinjanje užeta. Razlog postavljanja takvog sustava je taj da se onemogućiti spadanje čeličnog užeta sa kolotura, ali i da se omogućiti djelovanje opterećenja tokom svih faza pokreta.

Prijenos opterećenja je ostvaren pomoću čeličnog užeta i sustava kolotura. Takvim načinom prijenosa se omogućuje ostvarivanje definiranog pokreta za sinergijsko vježbanje. Prihvat korisnika je pokretan kako bi se omogućio pravilan početni položaj ruke. Veza opterećenja i čeličnog užeta ostvarena je pomoću pomične i nepomične koloture. Takvom izvedbom je ostvareno da je potreban hod utega duplo manji od dužine pokreta ruke.

Predloženo konstrukcijsko rješenje je inovacija naprave za sinergijsko vježbanje ramenog zglobova. Naprava je dizajnirana ergonomično tako da omogućuje izvođenje utvrđenog pokreta vježbanja.

Literatura

1. Wikipedija. *Deltoidni mišić*. [Mrežno] [Citirano: 9. 9 2014.] http://hr.wikipedia.org/wiki/Deltoidni_mi%C5%A1i%C4%87.
2. Ground Up Strength. *Deltoid Muscle*. [Mrežno] [Citirano: 15. 9 2014.] <http://www.gustrength.com/muscles:deltoid-location-actions-and-trigger-points>.
3. *Biomechanics Principles and Applications*.
4. **Hamill, Joseph i Knutzen, Kathleen M.** *Biomechanical Basis of Human Movement*. Amherst : Lippincot Williams & Wilkins, 2009.
5. **Peat, Malcom.** *Functional Anatomy of the Shoulder Complex*. 1986.
6. Mechanics in Excerise. *Angle of pull*. [Mrežno] [Citirano: 9. 20 2014.] <http://www.exrx.net/Kinesiology/AnglePull.html>.
7. Ortho Info. *Rotator Cuff and Shoulder Conditioning Program*. [Mrežno] [Citirano: 2. 10 2014.] <http://orthoinfo.aaos.org/topic.cfm?topic=A00663>.
8. **Bronzino.** *Biomedical Engineering Handbook*.
9. **Brodie, Baltzopoulos.** *Isokinetic Dynamometry Applications and Limitations*. 1989.
10. **Routledge.** *Handbook of Biomechanics and Human Movement Science*.
11. Inner Body. *Muscles of the Shoulder*. [Mrežno] [Citirano: 1. 10 2014.] <http://www.innerbody.com/image/musc10.html>.
12. **Čaklović, Lavoslav.** *Teorija vrednovanja s naglaskom na metodu potencijala*. Zagreb : an., 2014.
13. **Muftić, Osman, i dr.** *Osnovi ergonomije*. Sarajevo : Mašinski fakultet Sarajevo, 2001.
14. **Nemančić, Krmpotić.** *Anatomija čovjeka*. Zagreb : an., 2004.